DES APPLICATIONS

DU

CIMENT ARMÉ

NOTE

PAR

M. G. LIÉBEAUX,

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Extrait de la **Revue Générale des Chemins de Fer** et des TRAMWAYS.

(N° de Décembre 1901).

PARIS (VIe)

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR,

49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49.

1902.

DES

APPLICATIONS DU CIMENT ARMÉ

NOTE par M. G. LIÉBEAUX,

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES.

SOMMAIRE.

I. — EXPOSÉ.

On a fait, à Nantes, en 1895 et 1896, pour des installations de moulins et d'estacades, des applications importantes du ciment armé.

Comme il s'agissait alors d'un système de construction encore peu connu, nous avons suivi de près et avec beaucoup d'intérêt ces applications, qui ont, du reste, attiré à Nantes un assez grand nombre d'ingénieurs.

Depuis cette époque, l'emploi du ciment armé s'est beaucoup répandu, en France comme à l'étranger, et les applications en sont devenues aussi nombreuses que variées.

Ce qui prouve bien l'importance prise maintenant par ce sytème de construction, c'est que M. le Ministre des Travaux Publics a nommé, tout récemment, une Commission chargée d'étudier les questions relatives à l'emploi du ciment armé dans l'exécution des Travaux Publics.

Cette Commission, présidée par M. Lorieux, inspecteur général des Ponts et Chaussées, a pour Secrétaires MM. Rabut, ingénieur en chef, et Mesnager, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées. A côté de ces noms, connus à si juste titre, il suffit de citer ceux de MM. Bechmann, Considère, Harel de la Noë, Résal, pour faire juger de la valeur de cette Commission (1), et des services qu'elle est appelée à rendre aux ingénieurs et aux constructeurs.

---

(1) La Commission est composée de 14 Membres, savoir :

MM. LORIEUX, inspecteur général des Ponts et Chaussées, *Président ;* RABUT, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, *Secrétaire ;* MESNAGER, ingénieur des Ponts et Chaussées, *Secrétaire ;* BECHMANN, CONSIDÈRE, HAREL de la NOË, RÉSAL, ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées ; Commandant HARTMANN, Capitaine BOITEL, HERMANT, architecte, GAUTIER, COIGNET, HENNEBIQUE, CANDLOT.

En raison de l'importance prise par l'emploi du ciment armé, en raison des ressources que l'on peut en tirer et des services qu'il peut rendre dans certains cas particuliers et difficiles, nous avons pensé qu'il y aurait quelque intérêt à traiter la question dans la *Revue Générale*, non pas au point de vue théorique (1), mais simplement au point de vue des faits et des applications les plus intéressantes.

Les problèmes à résoudre dans la construction et dans l'exploitation des chemins de fer exigent, en effet, des connaissances multiples et, par suite, il est toujours intéressant, et souvent fort utile, de savoir ce qui s'est fait ailleurs et quels ont été les résultats obtenus.

II. — FABRICATION ET MODE D'EMPLOI.

Toute construction en ciment armé se compose d'une ossature métallique noyée dans du ciment, ou plutôt dans du béton de ciment ; ainsi, une poutre en ciment armé a l'apparence d'une poutre ordinaire, tandis qu'à l'intérieur, il y a du métal (Fig. 1).

Le ciment et le métal doivent former un tout homogène, dans lequel le ciment travaille à la compression et le métal à l'extension.

L'ossature métallique se compose de pièces principales, destinées plus spécialement à résister aux efforts, et de pièces secondaires, de résistance beaucoup moindre, servant à relier ciment au métal, pour assurer l'homogénéité du tout.

Les dispositions de l'ossature métallique sont diverses.

Cette ossature se compose très souvent de fers ronds et d'étriers en fer plat (Fig. 2).

Les fers ronds placés à la partie inférieure sont quelquefois doublés, pour augmenter la résistance des pièces, par des fers ronds inclinés ou « barres pliées » (Fig. 3).

Les étriers verticaux sont remplacés, dans d'autres combinaisons, par des étriers inclinés, reliés entre eux, à la partie supérieure, pour former un ensemble se rapprochant le plus possible d'une poutre métallique (Fig. 4).

Les tiges des fers ronds, au lieu d'être droites, sont quelquefois pliées de manière à former des ondulations de la hauteur des poutres. Ces tiges traversent alors des étriers, en forme de W ou d'U, qui ne sont généralement que le prolongement, dans la poutre, des barres du hourdis voisin (Fig. 5).

Cet enchevêtrement qui, contrairement aux apparences, est d'une réalisation assez facile dans la pratique, a pour but d'augmenter la résistance de l'ensemble en rendant les armatures des poutres solidaires de celles des hourdis.

Il y a aussi des ossatures métalliques où l'on emploie, au lieu de fers ronds et d'étriers, « l'Expanded Métal, » connu en France sous le nom de « Métal déployé, » et qui n'est autre chose que le produit de la transformation par voie d'étirage, d'une tôle d'acier découpée, sans

---

(1) A consulter pour études au point de vue théorique :

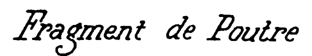
1° Influences des Armatures métalliques sur les propriétés des Mortiers et des Bétons, par M. Considère, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (*Le Génie Civil*, 4, 11, 18 et 25 février 1899).

2° Le Béton armé et ses Applications, par M. Christophe, ingénieur des Ponts et Chaussées, Belgique (*Annales des Travaux Publics de Belgique*).

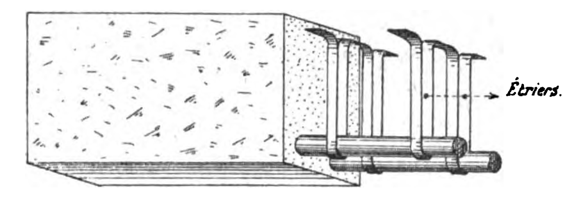
3° Calcul des poutres droites et Planchers en Béton armé, par M. L. Lefort (*Nouvelles annales de la Construction*, Juin 1898 et février 1899).

4° Théorie et Applications nouvelles du ciment armé, par M. Harel de la Noë, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1899, 1er trimestre).

Fig. 1.



Aspect extérieur. Le béton enlevé.

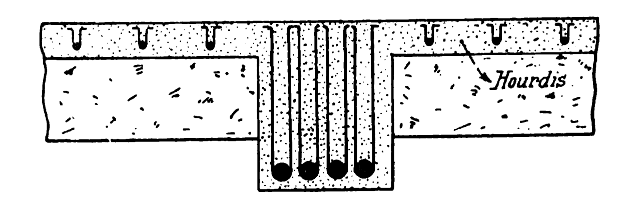


Fragment de Pilier

Entretoise.

Fig. 2,

Poutre maîtresse. Poutre secondaire.



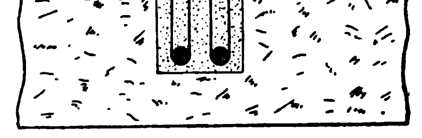


Fig. 3.



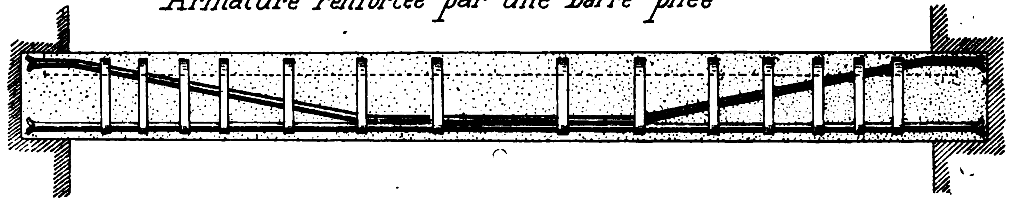


Fig. 4.

Armature avec étriers inclinés.

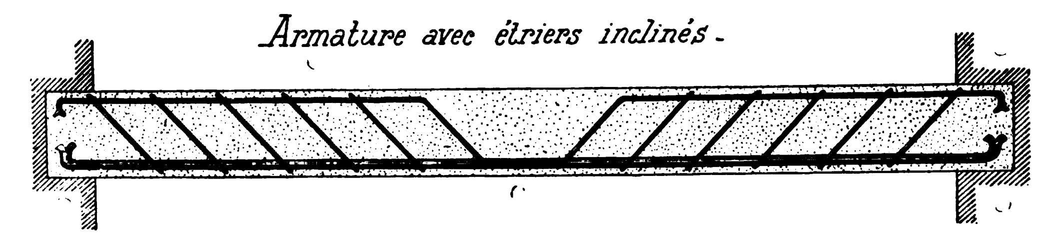
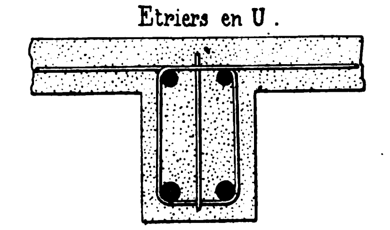
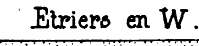


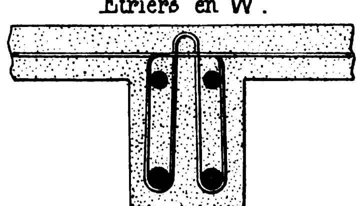
Fig. 5.

Armature — Les barres directrices des hourdis formant étriers —

Etriers en U.



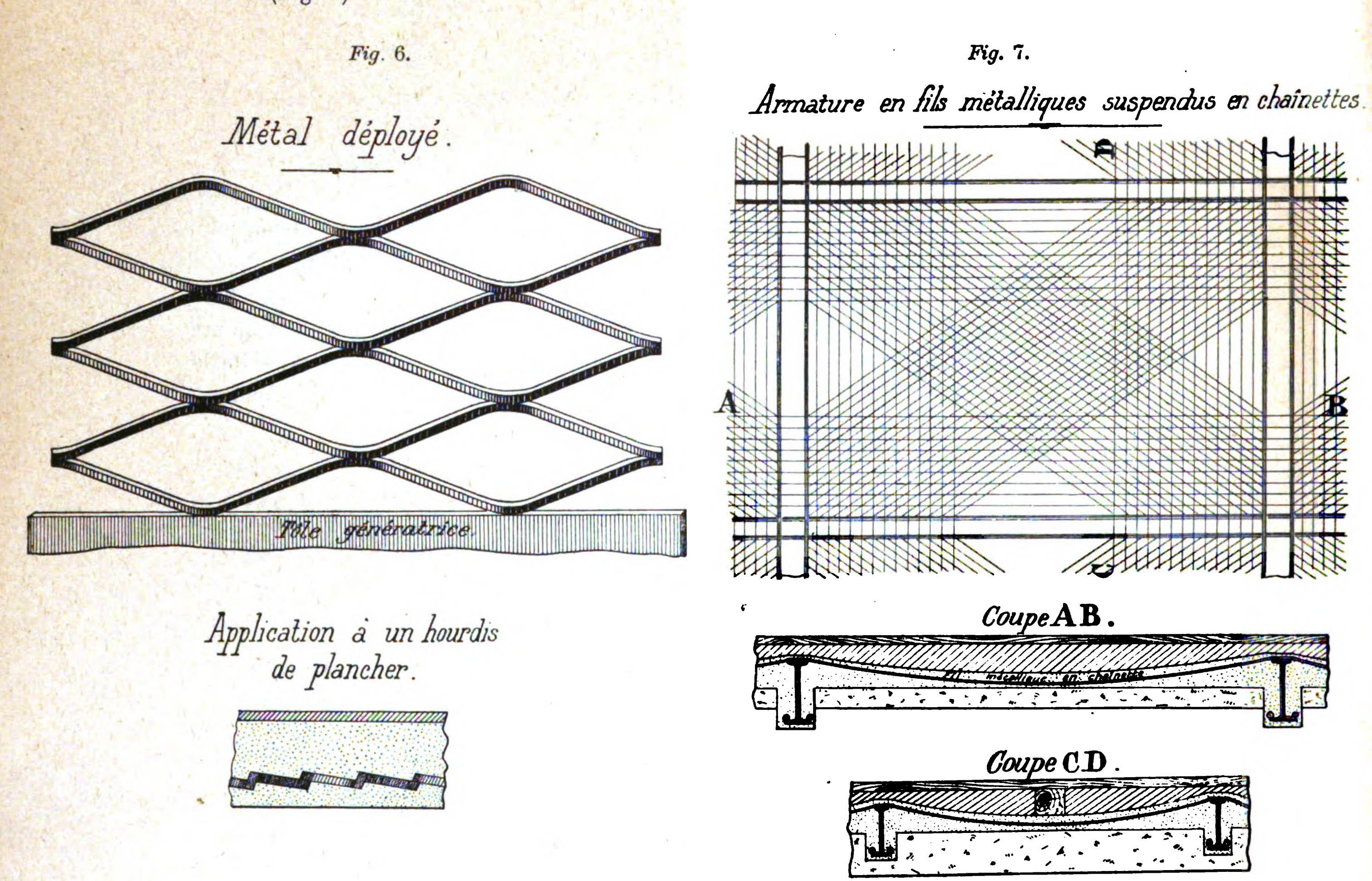




déchets, par une poinçonneuse spéciale. Les évidements prennent, après extension, la forme de losanges, dont les pleins sont relevés en sens opposé, ce qui double l'épaisseur du métal à leurs points de rencontre (Fig. 6).

Quelquefois, enfin, l'ossature métallique prend une importance telle que le ciment n'a plus d'action que comme enveloppe protectrice et que l'ossature peut assurer, par elle-même, la résistance de l'ouvrage.

Elle se compose alors de poutres à double T réunies par des chaînettes de flèches très faibles (Fig. 7).



D'une manière générale et à moins d'exceptions motivées, il ne faut admettre, pour la préparation du béton, que du ciment à prise lente et aussi régulière que possible, en exigeant toujours des essais préalables.

Avec le ciment à prise rapide, il faut, en effet, gâcher par petites quantités et employer très vite. C'est gênant et en même temps dangereux au point de vue des malfaçons.

Le sable doit être plutôt à gros grains; il faut qu'il soit aussi pur et aussi propre que possible. Le gravier doit satisfaire aux mêmes obligations, ses éléments n'ont pas, en général, de dimensions supérieures à deux ou trois centimètres.

Le dosage des matières, pour la fabrication du béton, varie avec la nature des ouvrages, les différents systèmes d'ossature et la résistance que l'on se propose d'obtenir.

L'influence de l'ossature tient à ce que, dans certains cas, le béton peut travailler à l'extension et non pas seulement à la compression, ce qui rend nécessaire une richesse plus grande en ciment.

Voici des dosages connus et consacrés par l'expérience :

1er Dosage.	2e Dosage.	3e Dosage.
1 de ciment.	1 de ciment.	1 de ciment.
1,5 de sable.	2,5 de sable.	2 de sable.
3,7 de gravier.	3,5 de gravier.	4 de gravier.

Quand il s'agit de pièces de faible épaisseur le béton ne se compose plus que de ciment et de sable, à raison généralement de 1 de ciment pour 3 de sable, soit 430 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable.

Les dosages de 250, 300 et 400 kilogrammes de ciment, par mètre cube de sable, sont des dosages moyens usuels.

Pour les travaux à la mer et dans certains cas spéciaux, on emploie jusqu'à 800 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable.

Le béton se fait à la main ou mécaniquement. La fabrication mécanique vaut toujours beaucoup mieux, au point de vue de l'homogénéité du mélange et de la régularité de la production, et les avantages de la production sont tels que l'on peut, sans inconvénient, réduire un peu la proportion du ciment dans les bétons fabriqués mécaniquement.

Le béton se prépare comme un mortier ordinaire de ciment. Les matières sont mélangées à sec, et l'on y ajoute l'eau par quantités successives. Il faut éviter d'avoir un béton mou, pour ne pas diminuer la compacité du mélange qui est, dans l'espèce, un des éléments du succès.

Au début, l'ossature métallique était en fer, maintenant on la fait souvent en acier. On emploie surtout l'acier dans les pièces fortement chargées.

Les fers doivent donner, à la rupture, une résistance de 35 kilogrammes par millimètre carré et les aciers 42 kilogrammes.

Les constructions en ciment armé s'exécutent par parties successives, à leur emplacement définitif.

Dans quelques cas particuliers, par exemple quand il s'agit de dalles ou de battage de pieux, les pièces peuvent être moulées à part, dans des chantiers distincts ; mais il faut alors attendre, avant la mise en place, que la prise soit bien complète et que la résistance des pièces soit suffisante. Des essais préalables s'imposent.

Pour l'exécution sur place, on se sert de coffrages en bois (Fig. 8), à surfaces aussi lisses que possible à l'intérieur, et assez solidement établis pour supporter, sans déformation, le poids des matériaux et les effets du pilonnage.

Il faut disposer les coffrages de façon que l'on puisse facilement les étançonner, les réemployer pour des pièces similaires.

Pour les voûtes, les coffrages des arcs sont analogues à ceux des poutres.

D'après les dispositions de l'ossature, les fers sont placés avant ou après l'établissement des coffrages. Le second cas est le plus usuel. Dans le premier, on se sert souvent alors de l'ossature pour soutenir les coffrages.

Le béton est mis en place par couches minces, que le pilonnage doit réduire à peu près de

moitié. Ces couches ont, en général, après pilonnage, deux centimètres environ pour les hourdis et de deux à cinq centimètres pour les poutres.

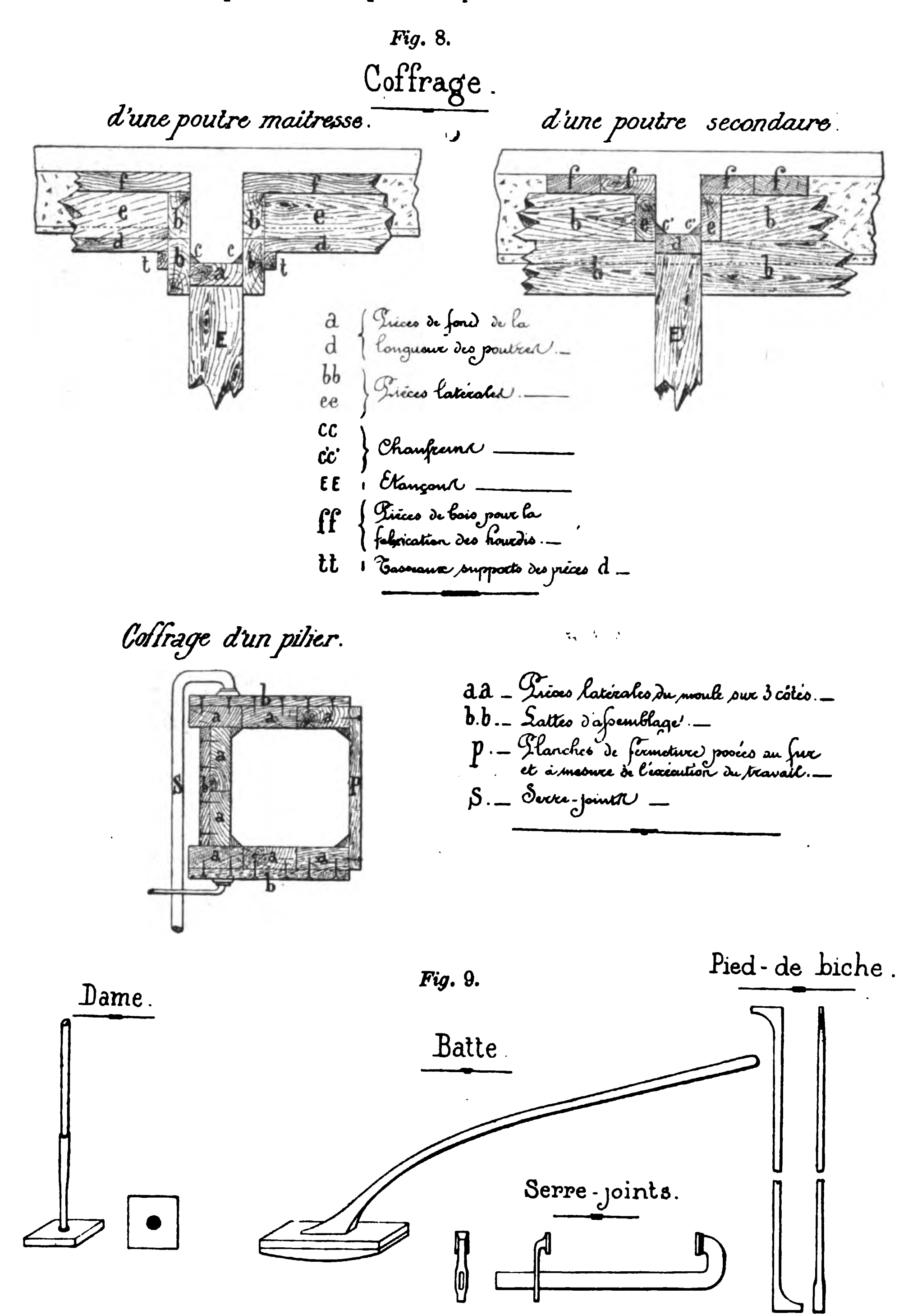


Fig. 8.

Fig. 9.

Les pièces de l'ossature métallique doivent rester toujours en contact entre elles et ne subir aucun déplacement par l'effet du pilonnage. C'est là une condition fort importante pour l'exécution de laquelle on doit faire exercer une rigoureuse surveillance.

Le damage du béton dans les coffrages se fait avec des outils de formes diverses et de poids différents. On se sert de dames, de battes et enfin de pieds de biche pour le serrage aux abords de l'ossature, dans les intervalles trop restreints pour la manœuvre des autres outils (Fig. 9).

Le damage a pour effet d'augmenter la compacité et l'homogénéité des poutres et des hourdis et, par suite, leur résistance. Il faut, par conséquent, qu'il soit fait et surveillé avec le plus grand soin.

Après damage, l'eau doit suinter à la surface du béton, si l'on a mis, au moment du mélange, la quantité d'eau convenable. En principe, on ne doit pas ajouter d'eau à un béton trop sec.

Les points de reprise sont toujours des points dangereux; il y a donc tout intérêt à les réduire au minimum et à les faire bien surveiller pour n'avoir que des soudures franches et complètes. Il est bon d'exiger aux points de reprise un lavage avec du ciment pur très étendu d'eau, un pilonnage très intense des surfaces en contact et quelquefois même l'emploi d'une couche de un centimètre environ d'un mortier composé à volumes égaux de sable et de ciment.

Les effets de la chaleur sont plus à redouter que ceux du froid. La gelée retarde seulement la prise du béton, tandis qu'une température trop élevée détermine à l'extérieur et à l'intérieur des prises inégales, ce qui se traduit par des effritements. Il faut arroser pour éviter des températures anormales, et surtout se mettre à l'abri de l'action directe des rayons solaires.

Après démontage, on recouvre le béton d'un enduit, d'épaisseur variable, pour faire disparaître les rugosités des surfaces et les traces des coffrages. Cet enduit est formé généralement de deux parties de sable pour une de ciment.

Quand il s'agit de travaux importants, on fabrique souvent à part, mais simultanément et avec les mêmes moyens d'exécution, des pièces d'épreuves, en tout semblables aux pièces mises en œuvre. On a ainsi des éléments certains pour des vérifications ultérieures, que l'on peut pousser jusqu'à la rupture.

Cette pratique serait à généraliser et devrait faire l'objet d'une clause spéciale dans tous les cahiers des charges des travaux en ciment armé.

III. — FONDATIONS.

Le béton armé a beaucoup d'importance, au point de vue des fondations, non seulement en raison des facilités, de l'économie et des garanties qu'il procure, mais en raison aussi des solutions heureuses que son emploi rend possibles dans certains cas particuliers et difficiles.

S'il s'agit d'atteindre le solide à de grandes profondeurs, on peut se servir, au lieu de pieux en bois, de pieux en ciment armé. On a fait des battages avec des pieux à cavité centrale, dans lesquels on pouvait, pour durcir le terrain à la base des pieux, verser après la mise en place, un coulis de ciment (Fig. 10).

A Nantes, pour les fondations d'un mur à l'usine Cossé, et pour les fondations des estacades de l'usine des Houilles et Agglomérés, les pieux étaient pleins (Fig. 11).

On peut également remplacer les caissons en bois ou en métal par des caissons en ciment armé, mais il ne s'agit là, comme pour les pieux, du reste, que de cas exceptionnels.

En général, et d'une façon beaucoup plus heureuse, c'est par voie d'empattement à faible profondeur que l'on utilise le ciment armé dans les fondations. On peut, en effet, construire

presque à la surface du sol, soit des semelles, soit des plates-formes d'une seule pièce, dont les surfaces sont déterminées précisément par la nature des terrains, ainsi que par les charges que l'on peut ou que l'on veut leur faire supporter au sol des fondations. Les poutres qui

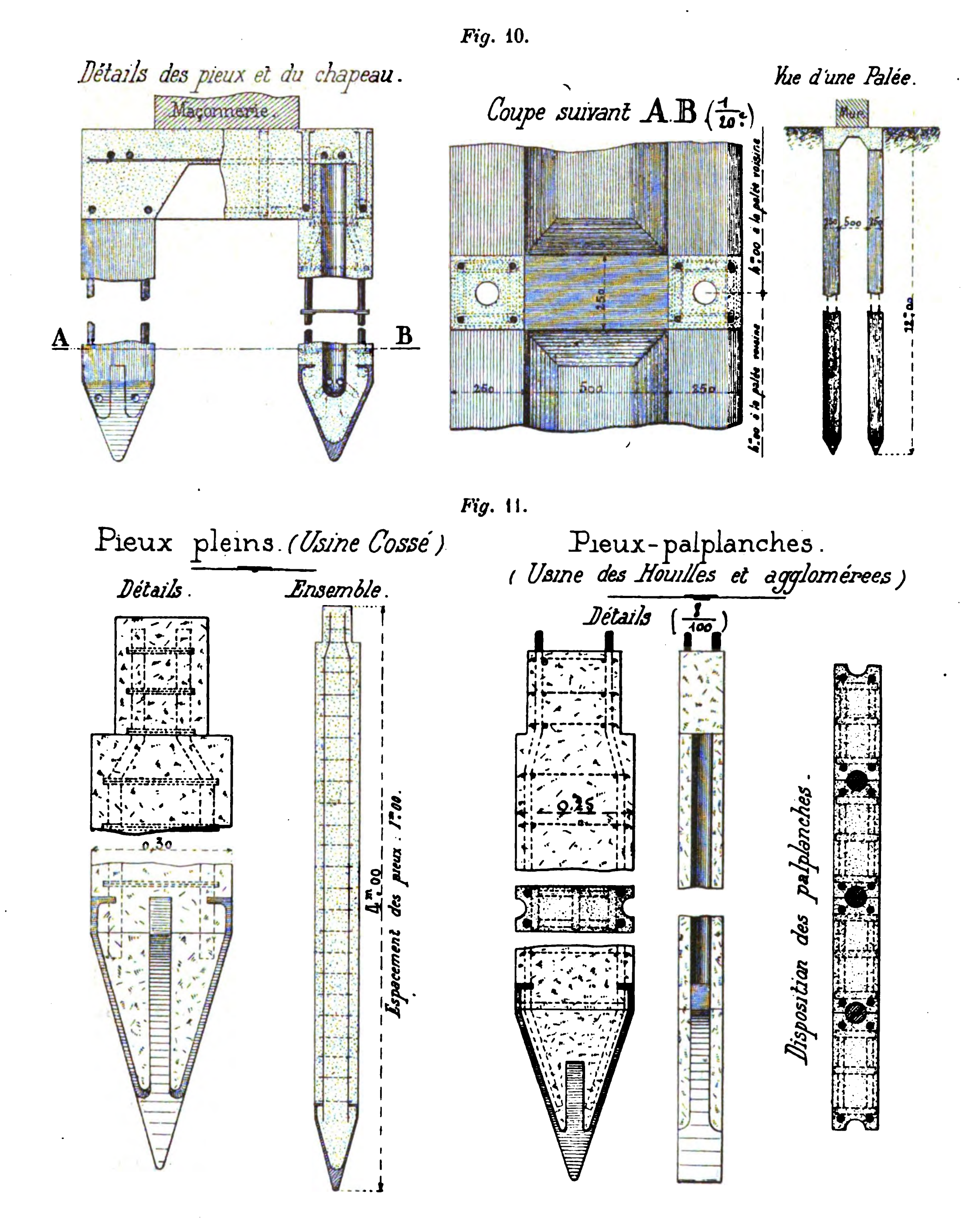


Fig. 10.

Fig. 11.

composent ces semelles ou ces plates-formes peuvent aussi résister aux efforts de traction produits par la compression du sol, et l'on n'est plus, dès lors, exposé aux cassures et aux tassements qui peuvent se produire dans des fondations ordinaires sur simples empattements de béton.

Une halle aux marchandises, en briques et fer, construite dans la gare de Saint-Nazaire, sur un terrain très compressible, a subi en 1896, des avaries graves à la suite d'un emmagasinement exceptionnel de blés. Si cette halle, au lieu de reposer simplement sur des massifs de béton, avait été établie, comme on pourrait le faire maintenant, sur une plate-forme en ciment armé, d'une surface et d'une résistance suffisantes, on aurait certainement pu l'utiliser, même avec des charges exceptionnelles, sans en provoquer la dislocation et la mise hors de service.

A Nantes, dans la vallée de la Loire et celles de ses affluents, l'Erdre et la Chézine, le sol est très compressible. Il faut s'établir sur le sable ou sur des sous-sols vaseux.

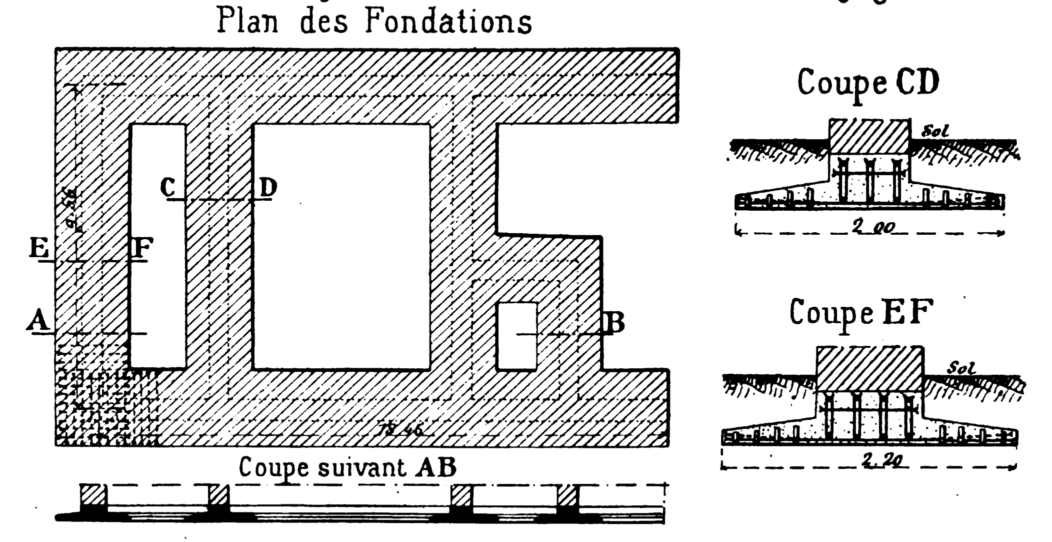
Pour les fondations de l'Institut bactériologique, on a construit un rectangle de 29^{m},30 sur 15^{m},70, avec poutres principales suivant le grand axe et divisions, par poutres secondaires, suivant le petit axe et parallèlement à sa direction. La largeur des empatements est de 1^{m}.10 pour les poutres secondaires et de 2^{m},50 pour les poutres principales (Fig. 12).

Fig. 12.

Ville de Nantes — Institut bactériologique

Plan des Fondations

Fig. 12 bis.



Une solution analogue a donné toute satisfaction, à Bordeaux, pour l'établissement, sur un terrain particulièrement difficile, du bâtiment des voyageurs des Tramways de Bordeaux

à Cadillac. On a établi, pour recevoir les murs, des empattements de 2 m. et de 2m,20, et l'on a pu faire supporter aux fondations des surcharges de 15.000 et de 16.000 kilogrammes par mètre carré, en n'exerçant sur le sol qu'une pression de 0 kg. 750 par centimètre carré (Fig. 12bis).

A l'usine de MM. Talvande et Douault, à Chantenay, près de Nantes, il a fallu, au contraire, par suite de la nature très mauvaise du sous-sol, établir, pour les fondations de l'un des bâtiments, une plate-forme complète.

Fig. 13.

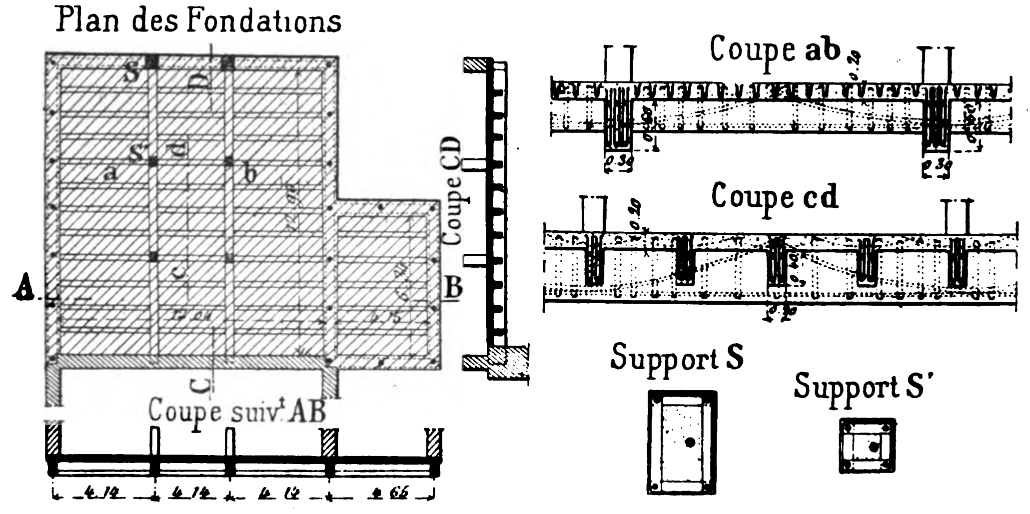
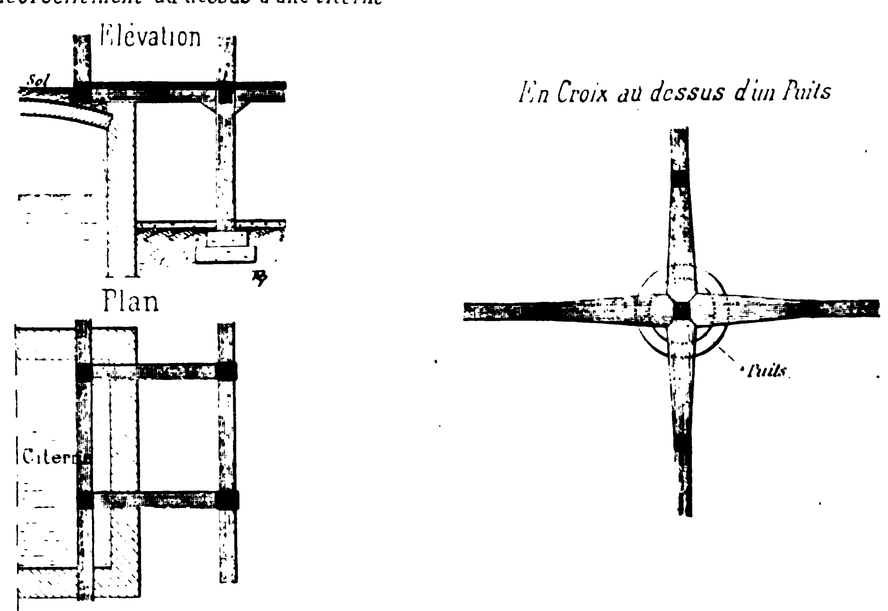


Fig. 14. — Supports de colonnes.



Cinq poutres principales de 0.60 sur 0.30, espacées de 4 mètres environ, ont été reliées, de mètre en mètre, par des poutres secondaires de 0.40 sur 0.20, et par un hourdis général de 0.20 d'épaisseur (Fig. 13).

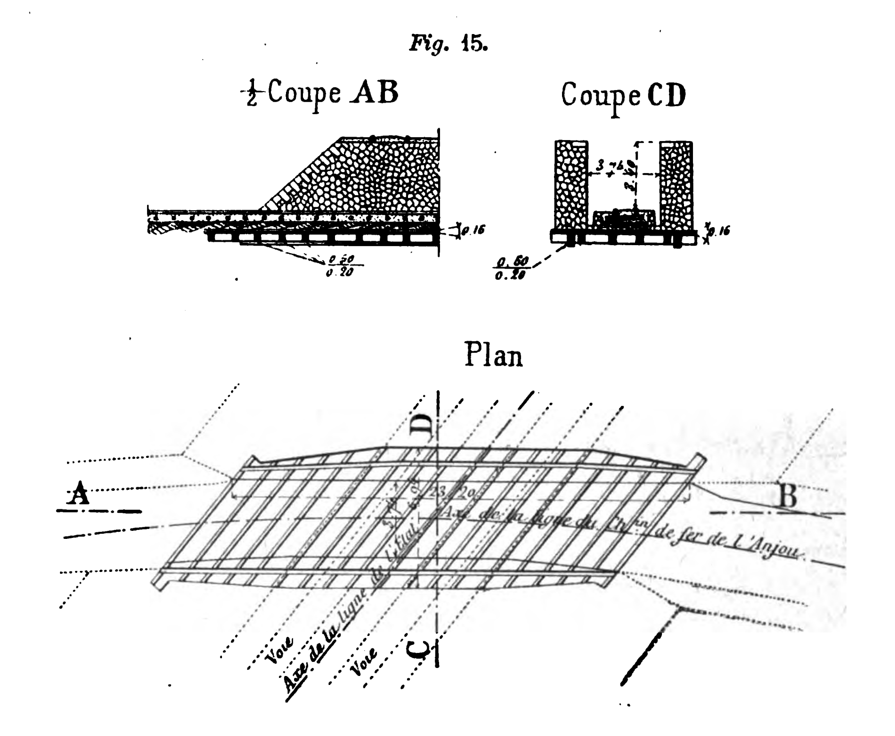
Les Grands Moulins de Nantes, placés sur le bord de la Loire, au pied de la butte de Sainte-Anne, ont été assez facilement établis sur le terrain solide ; mais la rencontre d'une ancienne citerne et d'un puits, en communication avec la Loire, a créé des difficultés spéciales dont l'emploi du ciment armé a rendu la solution facile. Des colonnes devaient prendre point d'appui sur la citerne et sur le puits ; on les a simplement supportées par des pièces en ciment armé, très résistantes, placées en encorbellement au-dessus de la citerne, et en croix au-dessus du puits (Fig. 14).

On a fait, l'an dernier, aux abords de Chalonnes, sur l'une des lignes à voie de 1m00 du réseau des Chemins de fer de l'Anjou, une application intéressante des fondations en ciment armé.

Il fallait établir, à la rencontre de la ligne de La Possonnière à Niort, et dans un fort remblai, un passage inférieur biais, de 4m00 environ, pour le croisement des deux lignes.

Les deux murs de l'ouvrage ont été construits sur un plancher en ciment armé, composé de deux pièces longitudinales de 0.60 sur 0.20 ; de 19 pièces transversales, suivant le biais, de 0.50 sur 0.20 ; et enfin d'un hourdis général de 0.16 (Fig. 15).

Fig. 15.



Cette solution a donné toute satisfaction au point de vue économique, aussi bien qu'au point de vue de la rapidité et des facilités de l'exécution.

IV. — APPLICATIONS ORDINAIRES.

Les applications ordinaires du ciment armé ont pris, depuis quelques années, beaucoup d'extension.

Elles se réduisent, pour ainsi dire, à des constructions de planchers et de supports, qui en constituent l'ossature générale.

Les terrasses-toitures ne sont autre chose que des planchers.

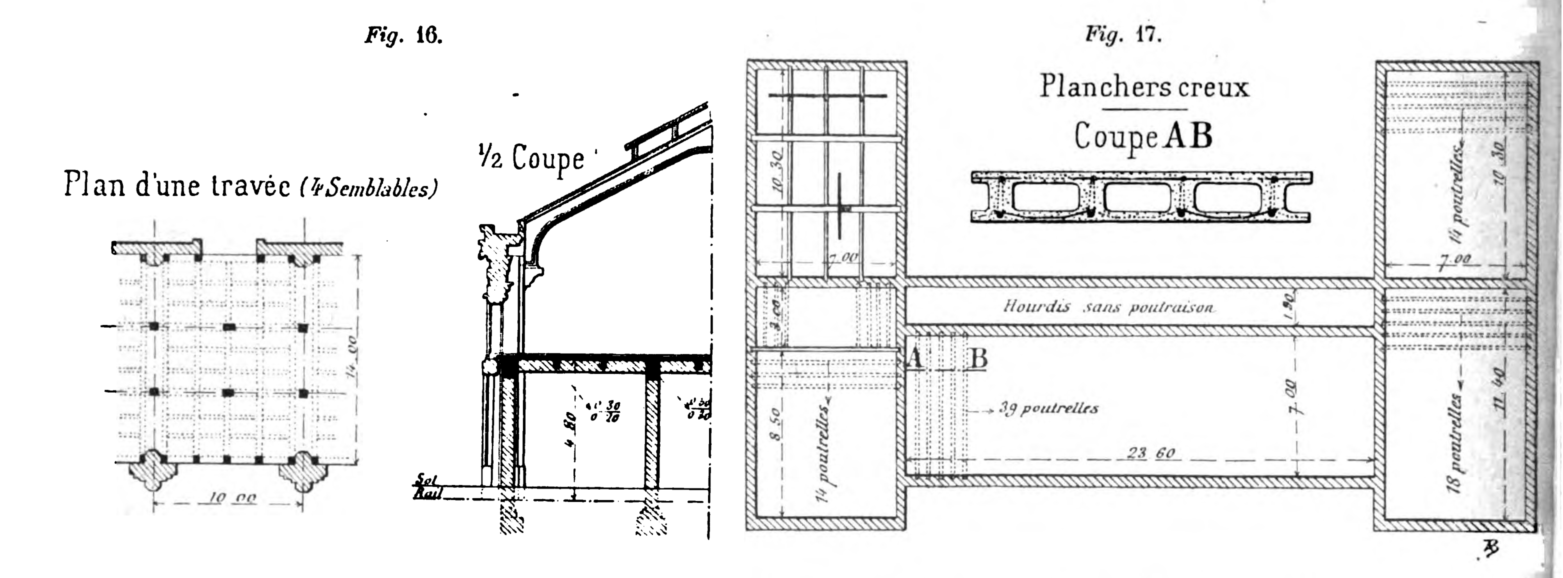
Les planchers sont formés de poutres maîtresses, de poutres secondaires perpendiculaires aux premières, et d'un hourdis.

Les dimensions varient avec la charge par mètre carré et les prix suivent naturellement des variations correspondantes.

A Nantes, les planchers de la distillerie Garnier et ceux de l'usine Lechat, Philippe et Benoit, pour des charges de 1.500 et 2.000 kilogrammes par mètre carré, ont coûté 17 à 19 francs le mètre ; ceux de la brasserie Schæffer, des Archives municipales et de l'Asile de nuit, pour des charges de 200 et de 400 kilogrammes par mètre carré, ont coûté 12 à 13 francs.

La Compagnie d'Orléans a fait construire, vers la fin de l'année 1899, à la gare de Paris-Austerlitz, dans la salle des bagages à l'arrivée, pour créer une sous-station électrique, un plancher, de 40 mètres sur 14, soutenu à 4^{m}60 au-dessus du sol par des poteaux en ciment de 0.30 sur 0.30.

Les poutres principales ont 0.50 sur 0.30 ; les poutres secondaires 0.30 sur 0.20, 0.20 sur 0.15 et le hourdis 0.08. (Fig. 16).



Ce plancher a donné lieu à des épreuves intéressantes par choc et par poids mort, à raison de 2.100 k. par mètre carré (1). Les dépenses se sont élevées à près de 22.000 francs, soit, pour une surface de 560 mq., 40 francs environ par mètre superficiel.

Les planchers, tels que nous venons de les décrire, sont à poutres saillantes et, dans bien des cas, ce n'est pas un inconvénient. On construit aussi des planchers à poutres non saillantes, en reliant les poutres par un hourdis inférieur, en même temps que par un hourdis supérieur. On obtient ainsi des planchers creux, dont les vides peuvent être remplis de matières isolantes. Ces planchers sont particulièrement insonores.

Quelques-uns des planchers de l'Asile de nuit, construit récemment à Nantes, sont des planchers creux (Fig. 17). Ils ont coûté 15 francs le mètre carré et peuvent supporter 400 kilogrammes par mètre superficiel.

(1) Le Béton Armé. — N° de Mars 1900.

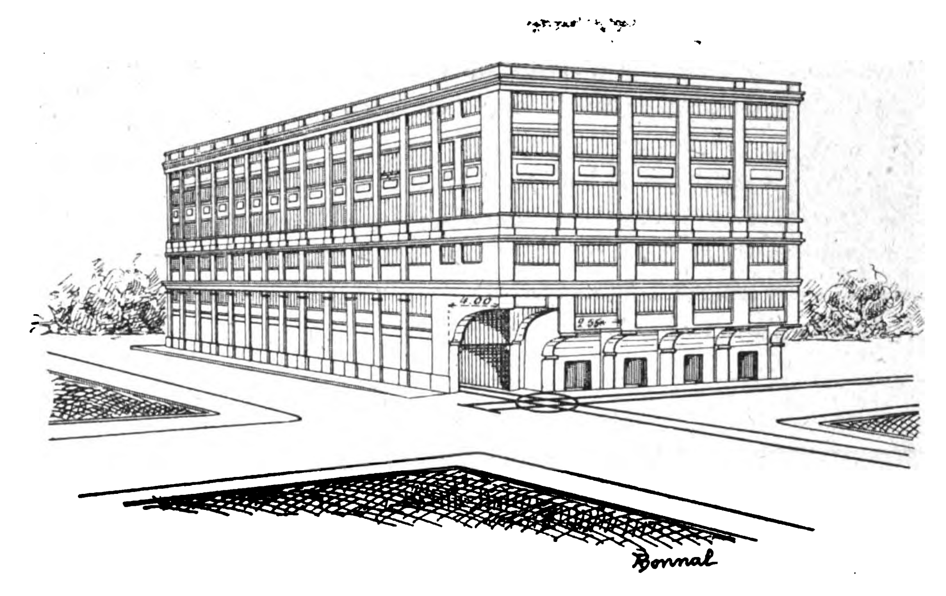
Parmi les nombreuses applications ordinaires faites à Paris, on peut citer : les agrandissements des Magasins du Bon Marché ; les travaux exécutés à l'Exposition ; la couverture des tranchées des Moulineaux ; la nouvelle construction du Comptoir d'Escompte, celle de la Cour des Comptes, etc... Toutes ces applications, qui ont beaucoup attiré l'attention des Ingénieurs et des Constructeurs, ont été décrites en détails dans de nombreuses publications (1).

Au début de cette note, nous avons signalé l'établissement à Nantes, en 1895, de Grands Moulins à six étages. Leur surface couverte est de 1.700 mètres carrés environ. Le coût de leur construction s'est élevé à 300.000 francs, soit, en nombre rond, 180 francs par mètre carré de surface couverte.

L'une des particularités de cette importante construction est l'encorbellement que l'on a ménagé sur l'une des faces, pour le passage d'une voie ferrée. La saillie de cet encorbellement est de $2^{m}55$, et les pièces consoles supportent toute la charge de la partie correspondante des cinq étages supérieurs. A l'un des angles, le porte à faux est de $4^{m}00$. (Fig. 18).

Fig. 18.

Grands Moulins de Nantes.



Depuis 1895, on a construit à Nantes ou aux abords : un Institut bactériologique, des maisons de rapport, des usines, comme celle de MM. Talvande et Douault ; des réservoirs, des glacières dans diverses brasseries, des estacades à charbon aux chantiers des Houilles et Agglomérés, etc.

Au point de vue spécial des Chemins de fer, les applications ordinaires les plus intéressantes à signaler sont des travaux d'établissement et d'agrandissement de halles à marchandises, comme à la gare de Paris-Austerlitz ; des installations d'estacades à charbon et de réservoirs,

---

(1) *Génie civil*, N° du 7 Juillet 1900.

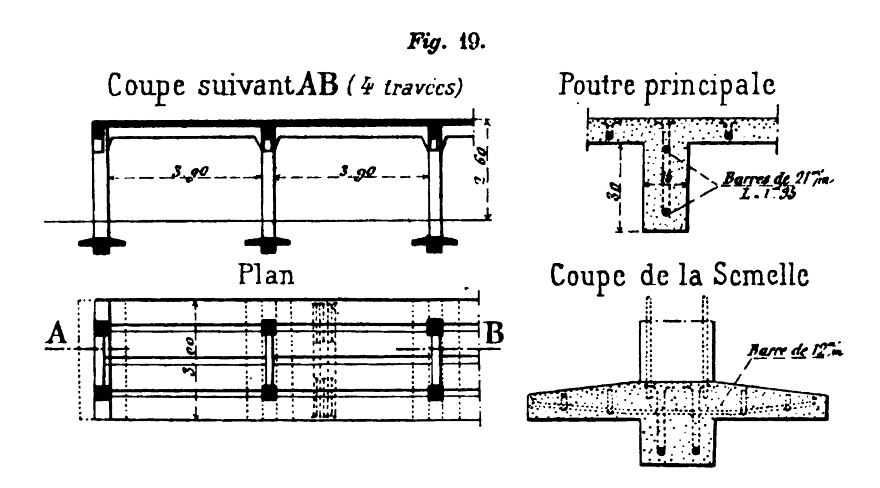
Le Béton armé et ses applications, par M. Christophe, ingénieur des Ponts et Chaussées de Belgique (*Annales des Travaux publics de Belgique*, 1899).

Le Béton Armé, Octobre 1900.

des constructions de bâtiments divers pour emmagasiner les matières inflammables, et enfin des installations accessoires, comme des guérites, des poteaux-supports, etc..., etc.

En 1896, nous avons fait construire à Savenay, une estacade à charbon de 18 m. sur 3 m., calculée pour supporter 1.000 kg. par mètre superficiel (Fig. 19).

Fig. 19.



Les épreuves faites à la charge de 1.500 kg. ont donné des résultats très satisfaisants (1). Le prix de revient a été de 25 fr. le mètre carré, escaliers non compris, et de 27 francs tout compris.

En 1897, une petite lampisterie de 5 m. sur 3 m. (Fig. 20) a été construite à forfait, en gare de Nantes, au prix de 1.600 francs, tout compris, soit 100 francs en nombre rond par mètre superficiel. L'élévation de ce prix tient à l'importance relative des travaux accessoires : menuiserie, serrurerie, tablettes, fourneaux, etc..., par rapport à ceux de gros œuvre, dont le prix de revient ne s'est élevé qu'à 50 francs environ.

---

(1) PROCÈS-VERBAL DES ÉPREUVES.

CHARGES		FLEXIONS observées au milieu des poutres de la travée B.	RELÈVEMENTS observés sur le milieu des parties des travées adjacentes.		PATICULARITÉS OBSERVÉES
Par mètre superficiel du tablier.	Totales uniformément réparties sur la travée B.		de gauche A.	de droite C.	
kg.	kg.	m. m/m	m. m/m	m. m/m	
250	3.188	0,000,4	0,000,3	0,000,0	
500	6.375	0,000,8	0,000,5	0,000,0	Aucune trace de fêlure dans les poutres, ni dans le tablier, ne s'est déclarée pendant l'opération.
750	9.563	0.001,3	0,000,7	0,000,3	
1.000	12.750	0,001,9	0,000,9	0,000,4	
1.250	15.938	0,002,7	0,001,2	0,000,7	
1.500	19.125	0,003,2	0,001,3	0,000,8	Pour la charge totale de 19.125 kg., la flèche a été de $\frac{0,003,2}{4,25} = 0,000,75$ de la longueur de la poutre.
Deux heures après le déchargement complet, les aiguilles des appareils avaient repris les positions ci-après :					
kg.	kg.	m. m/m	m. m/m	m. m/m	
0,000	0,000	0,000,2 ↓	0,000,7 ↑	0,000,4 ↑	

Au dépôt de Tours, on a construit, pour l'emmagasinement des hydrocarbures, un bâtiment de $8^m,90$ sur $3^m,80$, complété par deux petites citernes de $1^m,50$ sur $1^m,60$ et de 1 m. sur $0^m,80$ (Fig. 21). La dépense s'est élevée à 2.500 francs en nombre rond, soit 80 francs environ par mètre superficiel.

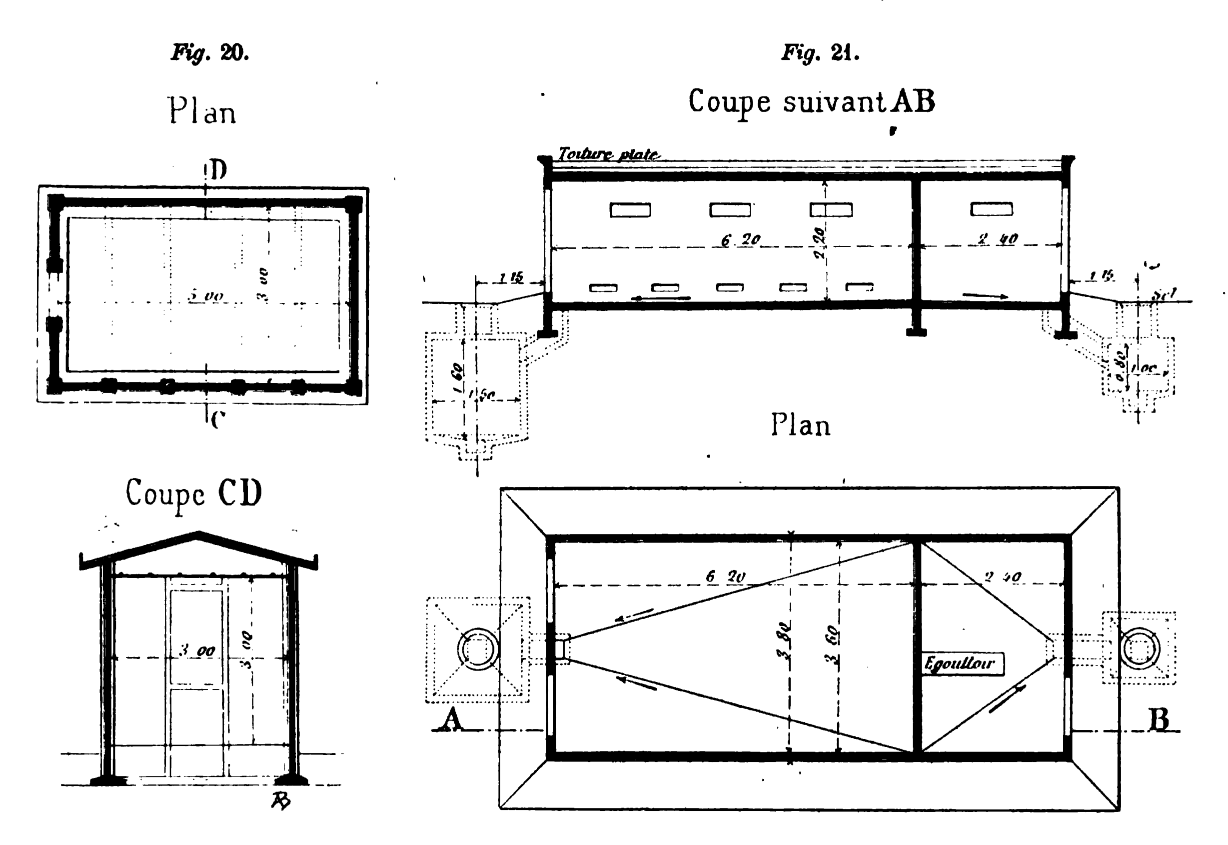


Fig. 20.

Fig. 21.

On remplace actuellement, dans la gare de Savenay, les cuves en tôle de deux réservoirs de 100 mètres cubes, par une seule cuve en ciment armé de 240 mètres cubes. L'opération se traduira, en fin de compte, par une économie de 2.000 à 3.000 francs, par rapport à ce qu'aurait coûté le remplacement des deux cuves par deux autres cuves en tôle.

Une guérite en bois, de 2 m. sur 2 m., coûte 500 francs. Il faut faire des frais pour son entretien et prendre des précautions contre l'incendie.

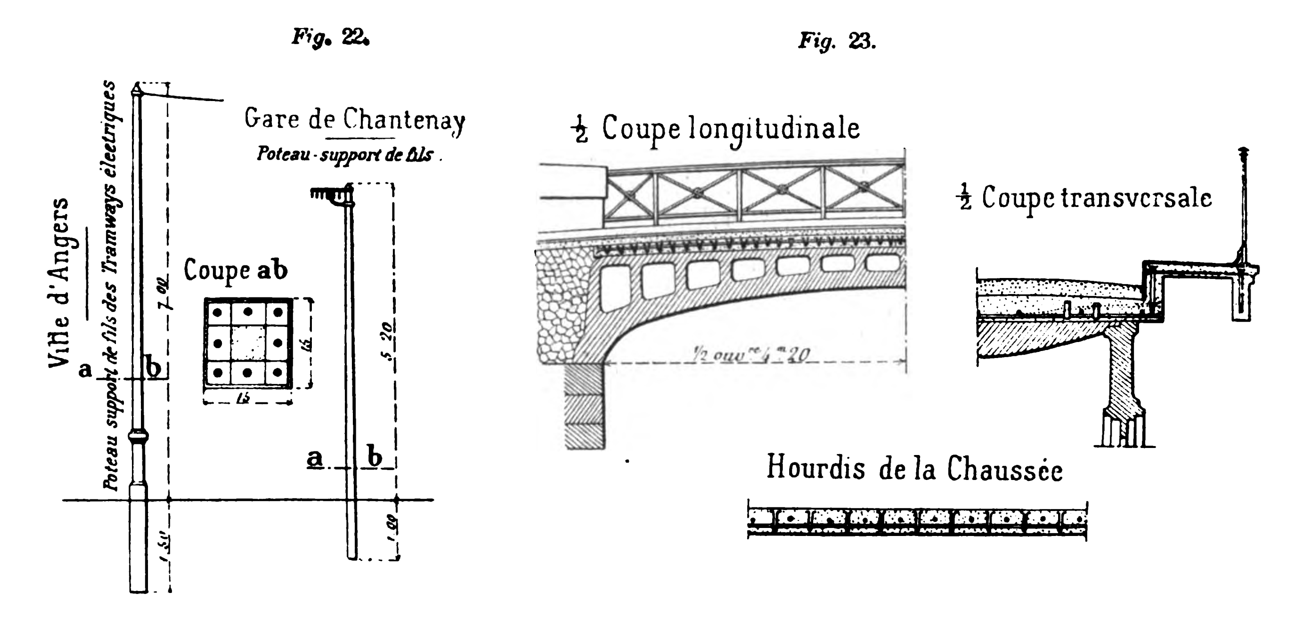
Les guérites en briques et fer du type de la Compagnie de l'Ouest ont aussi 2 m. sur 2 m., et reviennent à 500 francs.

Nous avons fait faire, principalement pour le gardiennage des postes sémaphoriques de pleine voie, des guérites en ciment armé de 4 m. sur 2 m., transportables sur wagon, qui sont beaucoup plus pratiques que les guérites de 2 m. sur 2 m. Leur prix de revient a été de 850 francs.

Dans les faubourgs d'Angers et de Rennes, on s'est servi de supports en ciment armé pour soutenir les fils conducteurs d'un tramway électrique à trolley (Fig. 22). Ces supports sont revenus à 100 francs mis en place, et à 70 francs rendus à pied d'œuvre.

Nous venons de faire poser, à titre d'essai, dans la gare de Chantenay, près de Nantes, pour des transmissions aériennes, des poteaux en ciment armé de $6^m,20$ de hauteur, à 22 fr. 35 la pièce (Fig. 22).

Comme dernière application ordinaire intéressante à citer, nous signalerons le remplacement, sur la ligne de Tours à Poitiers, des tabliers en bois de 7 ponts supérieurs de $8^m,40$



d'ouverture, à arcs en fonte, par des tabliers en ciment avec encorbellement pour les trottoirs (Fig. 23). Le coût par pont s'est élevé à 1.000 francs en nombre rond.

V. — PONTS ET PASSERELLES.

Au point de vue « Chemins de fer », les constructions de ponts en ciment armé sont intéressantes, puisque l'établissement d'une voie ferrée comporte toujours la construction d'un nombre considérable de ponts.

Les beaux travaux que M. l'Ingénieur en chef Harel de la Noë a fait exécuter pour l'établissement des tramways de la Sarthe (1) et particulièrement la construction, au Mans, du très original et très remarquable pont en X montrent bien les services que peut rendre, pour la construction des ouvrages d'art, l'emploi du ciment armé.

Comme pour les ouvrages en métal, il y a des ponts à poutres droites et des ponts en arc.

Les ponts à poutres droites ne sont que des planchers dont le hourdis constitue le platelage du pont.

Ce sont généralement des ouvrages de minime importance, pour routes ou chemins, calculés pour supporter des pressions de 300 à 400 kilogrammes par mètre superficiel.

Le prix de revient peut s'abaisser jusqu'à 30 fr. par mètre carré.

Il y a quelques exemples, notamment en Suisse, de pont en ciment armé à poutres droites, construits sous des voies ferrées.

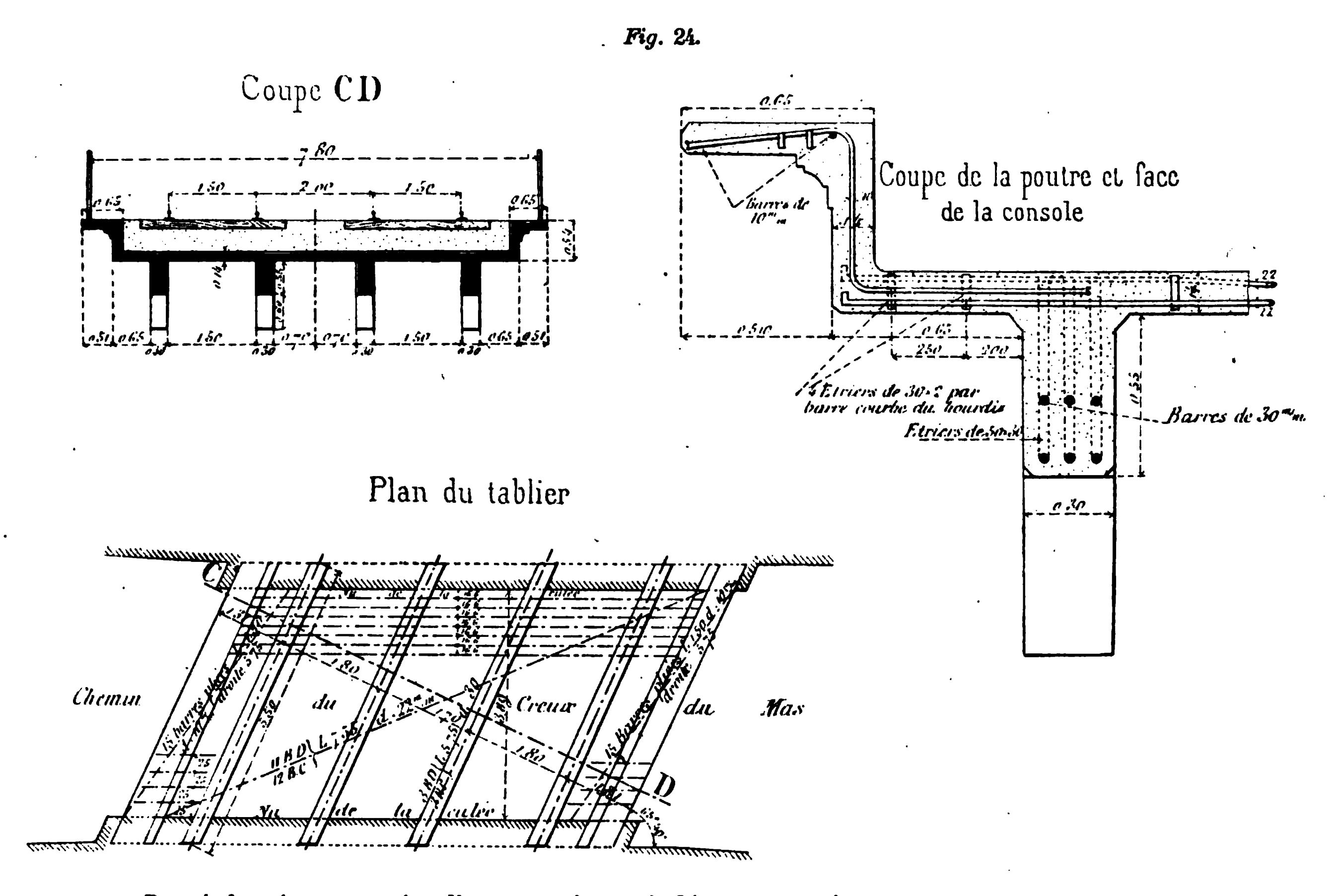
Sur la ligne, à double voie, de Lausanne à Genève, on a construit, en 1897, à la traversée du

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1899, 1er Trimestre.

Chemin du Creux du Mas, un passage inférieur biais, de 3^{m}89 d'ouverture droite, tout en ciment armé (1)

L'ouvrage se compose de quatre poutres de 5^{m}50 de longueur, 0^{m}30 de largeur et 0^{m}55 de hauteur, espacées de 1^{m}80. Dans chaque poutre, il y a deux rangées de trois barres de fer rond. Le hourdis a 0^{m}14 d'épaisseur. Il forme une cuvette qui contient le ballast, et dont les bords sont deux trottoirs en encorbellement, de 0^{m}65 chacun (Fig. 24). Les dépenses se sont élevées à 4.800 fr. environ, soit 150 fr. par mètre carré couvert.

Fig. 24.



Depuis la mise en service, l'ouvrage s'est très bien comporté.

La portée des ponts à poutres droites ne dépasse pas généralement une quinzaine de mètres. Pour des ouvertures plus grandes, on construit des ponts en arc.

Le hourdis peut alors être posé à plat ou suivre, au contraire, la courbure des arcs.

Au pont que l'on a construit sur le quai Debilly (Fig. 25), pour l'Exposition, le hourdis était à plat. Il était supporté par 12 arcs de 14^{m} de portée, surbaissés au 1/22, distants de 2^{m}72 d'axe en axe, de 0^{m}90 aux retombées et de 0^{m}30 à la clé.

Le hourdis de 0^{m}21, posé à plat, a été renforcé par 4 poutres transversales de 0^{m}25 de hauteur, à intervalles de 2^{m}80 d'axe en axe.

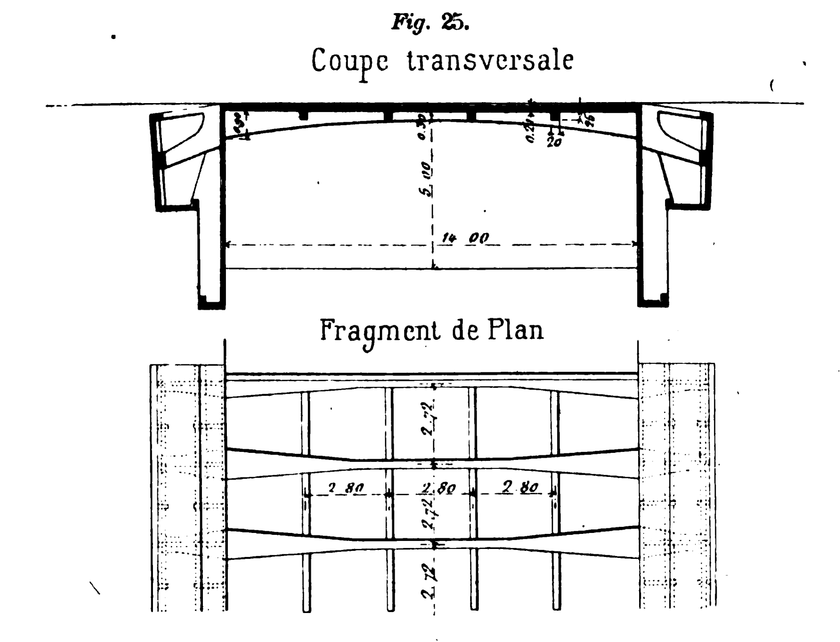
---

(1) La Compagnie du Jura-Simplon a fait construire plusieurs ouvrages analogues, ayant jusqu'à 5^{m}00 d'ouverture. Tous ces ouvrages se comportent bien. (Renseignements fournis par M. l'Ingénieur en chef de la Voie des Chemins de fer du Jura-Simplon).

L'ossature a été constituée par des barres d'extension, des barres pliées, des étriers, et enfin des feuillards transversaux pour uniformiser la pression.

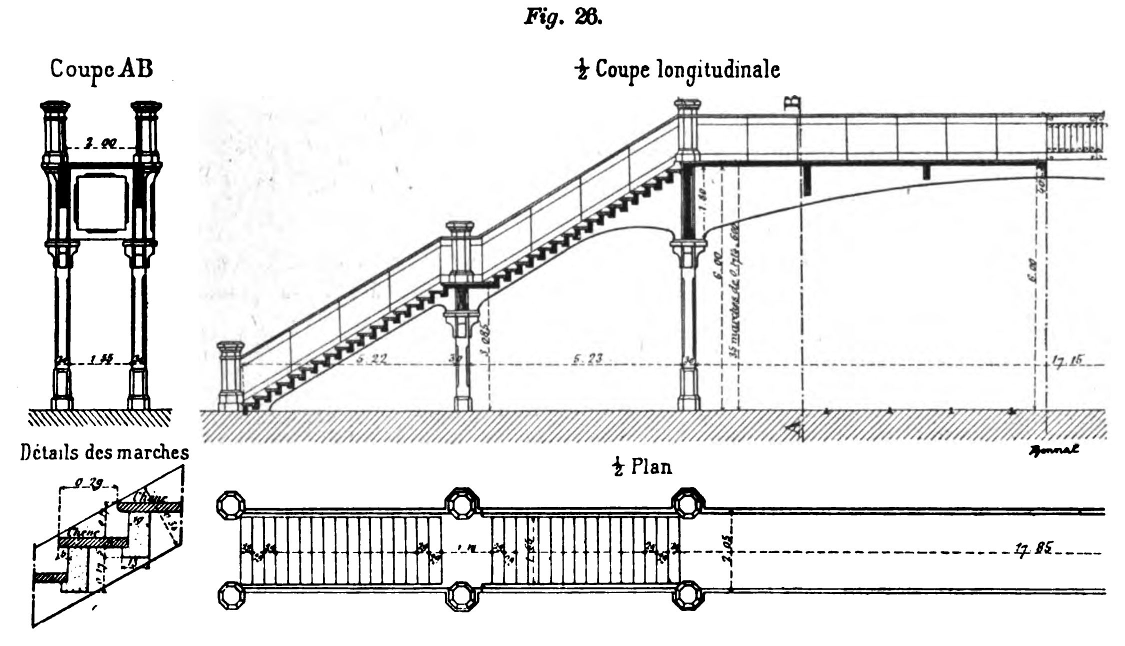
La disposition spéciale des culées, par bouclier et jambes de force, a permis de réduire à 1 kil. par mètre carré, la pression sur le sol, malgré l'importance des charges supportées par l'ouvrage (Fig. 25).

Fig. 25.



Les essais ont été faits à 600 kil. par mètre carré, sur toute la surface, à 900 kil. aux abords des têtes, et les flèches n'ont pas dépassé 6 millimètres.

Fig. 26.



Nous avons fait construire l'an dernier, à Lorient, au-dessus des voies, à l'entrée de la gare une passerelle pour piétons où le hourdis est aussi posé à plat. Cet ouvrage a peu d'importance

mais il se fait remarquer par sa grande légèreté et son élégance. A ce double titre, il mérite d'être cité.

La passerelle de Lorient se compose d'une travée centrale de 17^m15, et de quatre petites travées, de 5 à 6 mètres, correspondant aux escaliers (Fig. 26).

Les deux poutres de la travée centrale ont 0^m40 à la clé et 1^m80 aux points d'appui sur les pilliers. Elles sont surbaissées au 1/12. Le hourdis, posé à plat et renforcé par cinq nervures transversales, forme un tablier de 2^m00 de largeur, qui peut supporter une charge de 300 kil. par mètre superficiel.

Le travail devait être exécuté à forfait, au prix de 5.500 francs ; mais par suite d'un retard dans la commande et de l'élévation momentanée du prix des matériaux, il a coûté 7.610 fr., soit 190 fr. par mètre linéaire, et 95 fr. par mètre superficiel, au lieu de 140 et de 70 fr.

Dans les grands ponts en ciment armé, le hourdis, au lieu d'être à plat, a, comme les poutres, la forme arquée. L'un des ouvrages les plus importants, le vrai type du genre, est le beau pont construit récemment sur la Vienne, à Châtellerault. Sauf le parapet, qui est en fer, tout l'ouvrage, fondations comprises, est en béton de ciment armé. Le pont, dont la longueur totale est de 135^m entre culées, est formé de 3 arches : deux arches de rive de 40 mètres d'ouverture, surbaissées au 1/10, et une arche centrale de 50^m avec 4^m80 de flèche (Fig. 27 et Fig. 28).

Fig. 27.

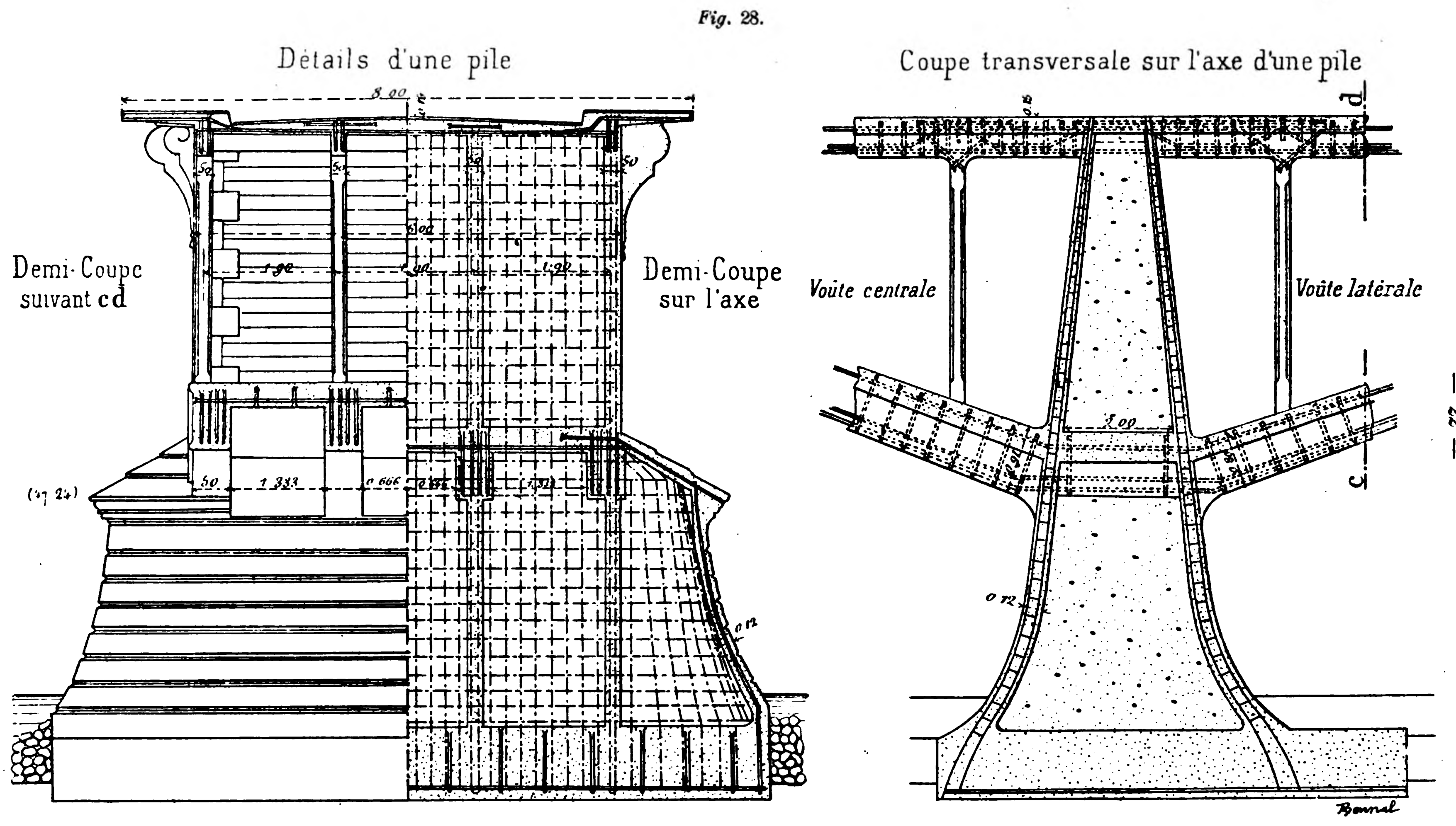
½ Elévation

½ Plan

Les piles et les culées reposent sur des semelles en béton armé, encastrées dans le rocher. Elles sont formées de 4 supports verticaux, faisant corps avec les semelles par le prolongement de leurs armatures. La forme extérieure est donnée par un masque de 0^m12 d'épaisseur. Le vide entre les supports et le masque a été rempli par du béton maigre ordinaire.

Les voûtes sont formées de 4 poutres de 0^m50 de largeur et de hauteurs variables, reliées entre elles par un hourdis continu. L'ensemble des poutres et du hourdis a 6^m00 de largeur.

Fig. 28.


Détails d'une pile
8.00
Demi-Coupe
suivant cd
Demi-Coupe
sur l'axe
Coupe transversale sur l'axe d'une pile
Voûte centrale
Voûte latérale
1.00
0.12
Bonnal

Les épaisseurs, aux naissances, sont de 0m80 pour les arches de rives, et 0m91 pour l'arche centrale. A la clé, ces épaisseurs se réduisent à 0m44 et 0m54. Les armatures en fers ronds des voûtes se prolongent dans les piles.

Le tablier a 8 mètres de largeur, au lieu de 6, et les deux trottoirs qu'il forme sont en encorbellement. Il est composé d'un hourdis de 0m15, sur lequel a été appliqué directement l'enduit de la chaussée. Ce hourdis est renforcé par quatre files de poutres qui correspondent aux poutres des arcs. Des colonnettes, espacées de 2 mètres en 2 mètres, reportent sur les arcs la charge du tablier.

Les armatures du tablier sont disposées comme celles des planchers ordinaires.

L'exécution de tout le gros œuvre s'est faite en moins de trois mois, du mois d'août au mois de novembre 1899.

Les essais par poids morts et par poids roulants ont été exécutés au cours de l'année 1900. Aux essais par poids morts, la charge d'épreuve a été portée, pour la chaussée, à 800 kil. par mètre carré, au lieu des 400 kil. prescrits, et pour les trottoirs, à 600 kil. « Les abaissements » maxima, dans les conditions de surcharge les plus défavorables, ont été de 6 m/m pour l'arche » de gauche, 5 m/m pour l'arche de rive droite, et 10 m/m pour l'arche centrale : soit en moyenne, » pour les arches de 40m d'ouverture, 1/7300 de la portée, et pour l'arche centrale de 50 mètres » d'ouverture, 1/5000 de la portée.

» Lorsque les surcharges ont été enlevées et le pont entièrement débarrassé, les arcs sont » revenus complètement à la hauteur initiale » (1).

Les épreuves par poids roulants ont donné des résultats tout aussi satisfaisants : les flèches n'ont jamais dépassé le 1/9000 de la portée, et les déformations des arcs, par rapport aux lignes moyennes, sont toujours restées inférieures à celles qui ont été obtenues dans les épreuves par poids morts (2).

Les dépenses, réglées à forfait, se sont élevées à 175.000 francs, soit 1.300 fr. par mètre linéaire et 162 francs par mètre de surface couverte.

On a calculé qu'un pont de même importance, exécuté en maçonnerie et en métal, aurait coûté deux fois plus.

VI. — ESTACADES ET ENCORBELLEMENT. — SOUTÈNEMENTS

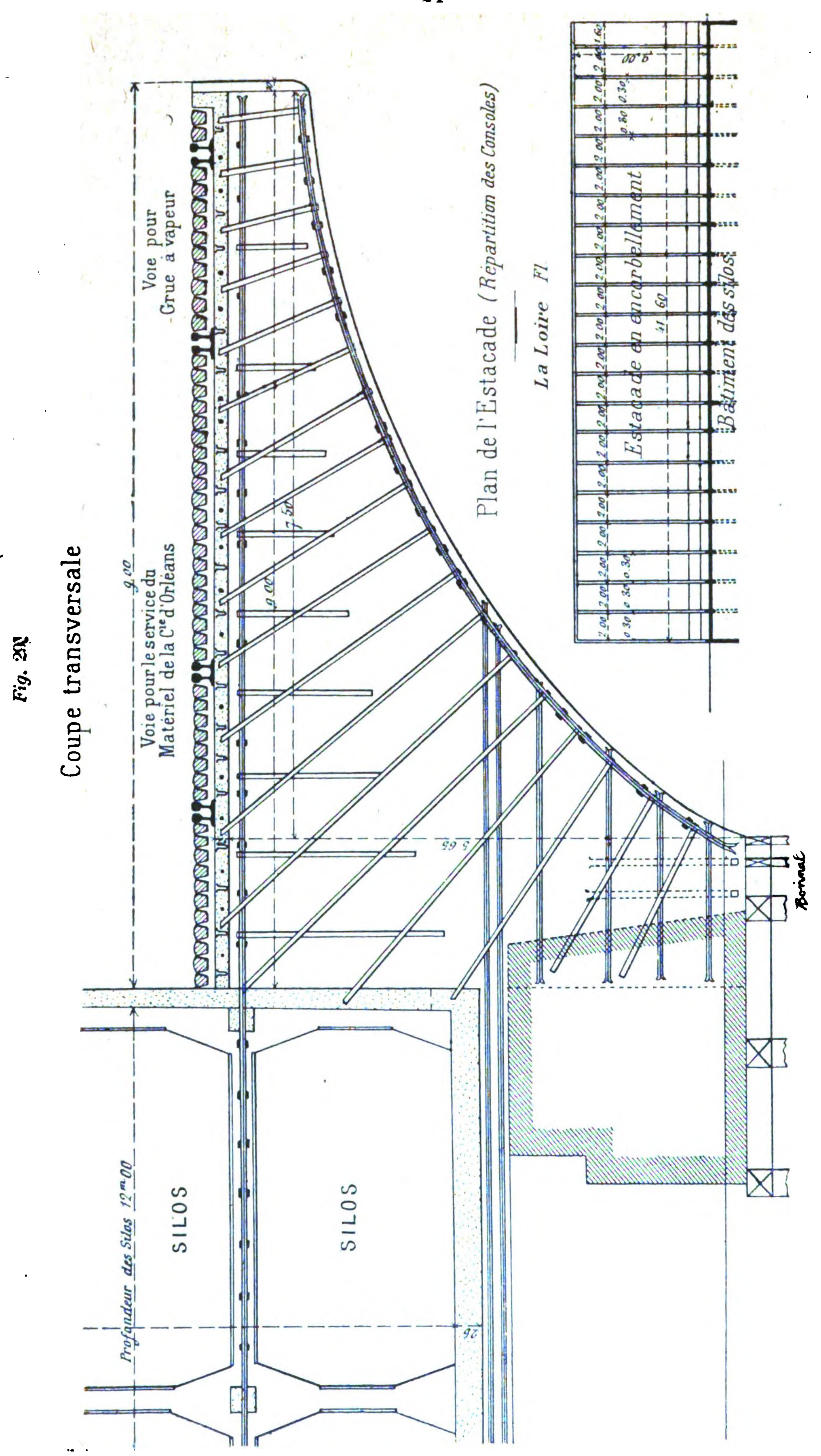
L'emploi du ciment armé a rendu plus nombreuses et plus hardies les constructions en encorbellement. Au point de vue « Chemins de fer », ce fait a de l'importance, car il arrive souvent que la proximité des voies ne permet pas de prendre de points d'appui, et qu'il peut être utile, sinon indispensable, d'avoir recours à l'encorbellement.

Les beaux travaux exécutés pour la ligne de Courcelles au Champ-de-Mars en sont une preuve. Les encorbellements y ont joué un rôle important, notamment le long du boulevard Pereire, où il fallut reculer les murs de soutènement de la voie ferrée pour augmenter la largeur de la plate-forme, sans porter atteinte à la largeur du boulevard.

Nous avons précédemment signalé au § des applications ordinaires, les encorbellements de 2.55 et de 4.00 ménagés sur l'une des faces des Grands Moulins de Nantes. C'était

(1) Extrait du procès-verbal des opérations, en date du 6 avril 1900.

(2) Procès-verbal en date du 22-28 avril 1900 (Le Béton armé, N° de novembre 1900).


Coupe transversale
Voie pour Grue à vapeur
Voie pour le service du Matériel de la Cie d'Orléans
Plan de l'Estacade (Répartition des Consoles)
La Loire
Estacade en encorbellement
Bâtiment des silos
SILOS
SILOS
Profondeur des Silos 12m00

précisément la proximité d'une voie ferrée et celle d'une plaque tournante qui avaient rendu ces encorbellements nécessaires.

On a construit à Nantes, il y a quelques années, deux estacades de types différents, et qui, toutes deux, présentent beaucoup d'intérêt au point de vue de l'encorbellement.

L'une forme saillie de 9 mètres, au droit du bâtiment où se trouvent les silos des Grands Moulins de Nantes. Elle est encastrée dans ce bâtiment qui lui sert de contrepoids ; tandis que l'autre fait saillie sur un mur de quai, complètement isolé et rattaché, par des tirants, à des corps morts noyés en arrière dans le sol.

La première estacade à 41 ^{m},60 de largeur (Fig. 29). Elle se compose de 21 consoles de 0 ^{m},30 de largeur, espacées de 2 mètres d'axe en axe, réunies par un hourdis de 0^{m},12. Les consoles font saillie de 9^{m},00 sur le nu du mur et de 7^{m},50 sur les pilotis des fondations. Elles sont reliées au bâtiment par leurs armatures et par deux cours de fers ronds horizontaux, qui se prolongent sur toute la profondeur des silos.

Les essais ont été faits au moyen d'une charge roulante de 24.000 k. portée par un wagon qui se déplaçait le long d'une voie dont l'axe était à 5^{m},00 des points d'appui. Le moment fléchissant correspondant était de 120.000 kgr., légèrement supérieur au moment prescrit pour les consoles, soit 116.000 kgr.

Ils ont donné toute satisfaction.

La seconde estacade est celle de l'usine des houilles et agglomérés, à Chantenay. Elle a 60^{m} de longueur. Des consoles de 0^{m}. 40 de largeur, espacées de 4^{m},00 d'axe en axe, supportent. avec encorbellement de 6^{m},00, un hourdis de 0,10 et de 0,15, renforcé par quatre poutres parallèles à la rive. Les consoles sont fortement rattachées par leurs armatures, à un mur de quai, en ciment armé, de 4^{m},60 de hauteur qui s'appuie, par l'intermédiaire de semelles de 0,20 d'épaisseur, sur deux files de pieux battues à 1^{m},32 l'une de l'autre.

Des tirants en ciment armé de 5 à 6^{m},00 de longueur relient le mur du quai aux corps morts noyés en arrière dans le sol (Fig. 30).

L'établissement de cette seconde estacade et celui du quai auquel elle est reliée ont donné lieu à des incidents et à des mécomptes qui sont à mentionner, en raison de l'émotion et des discussions qui en ont été la conséquence.

Le mur du quai devait avoir une longueur totale de 136 mètres : soit 45^{m}, à l'amont de l'estacade, 60^{m}, au droit de l'estacade et 31^{m}, à l'aval. (Fig. 31).

Dans la partie E F, le mur s'est cintré, avec flèche de 0^{m},23.

Entre A et B, à l'amont, une partie du mur s'est renversée, en produisant un arrachement au droit de la première console.

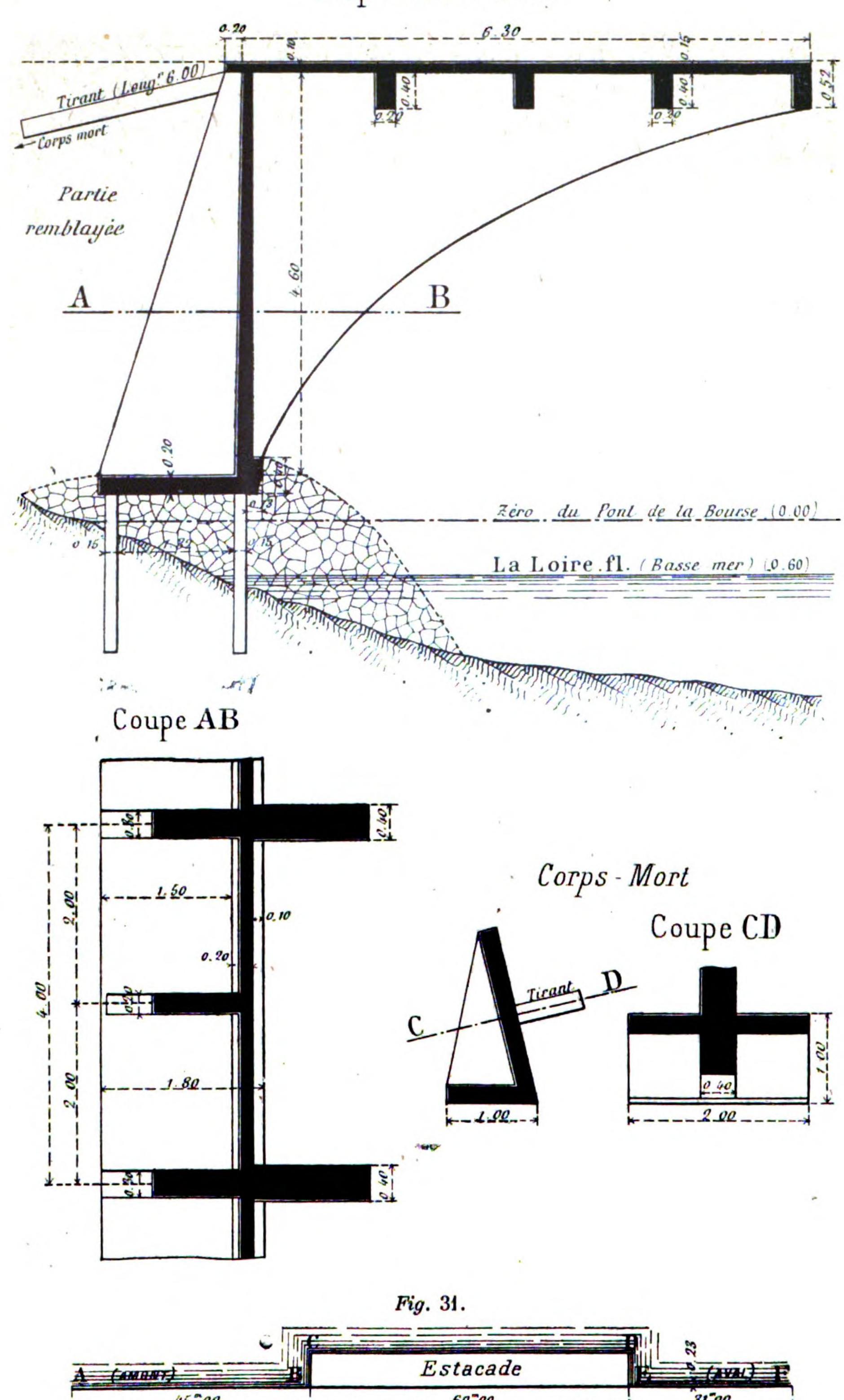
L'estacade, qui avait subi sans incident les épreuves prescrites, était alors en service. Par mesure de précaution, les déchargements de charbon furent suspendus. On ne les reprit que beaucoup plus tard, après l'achèvement complet des travaux et la vérification, au moyen de nouvelles épreuves, de la résistance et de la stabilité des ouvrages.

Après l'enlèvement des remblais, on a reconnu que plusieurs tirants avaient cédé, et depuis qu'on les a fortement renforcés, aucun incident ne s'est produit. Les tirants primitifs n'avaient donc pas, suivant toute probabilité, une résistance suffisante.

On a constaté aussi que l'estacade recevait des chocs anormaux, par suite de la position mal comprise d'un taquet sur lequel venaient butter les wagons chargés de briquettes.

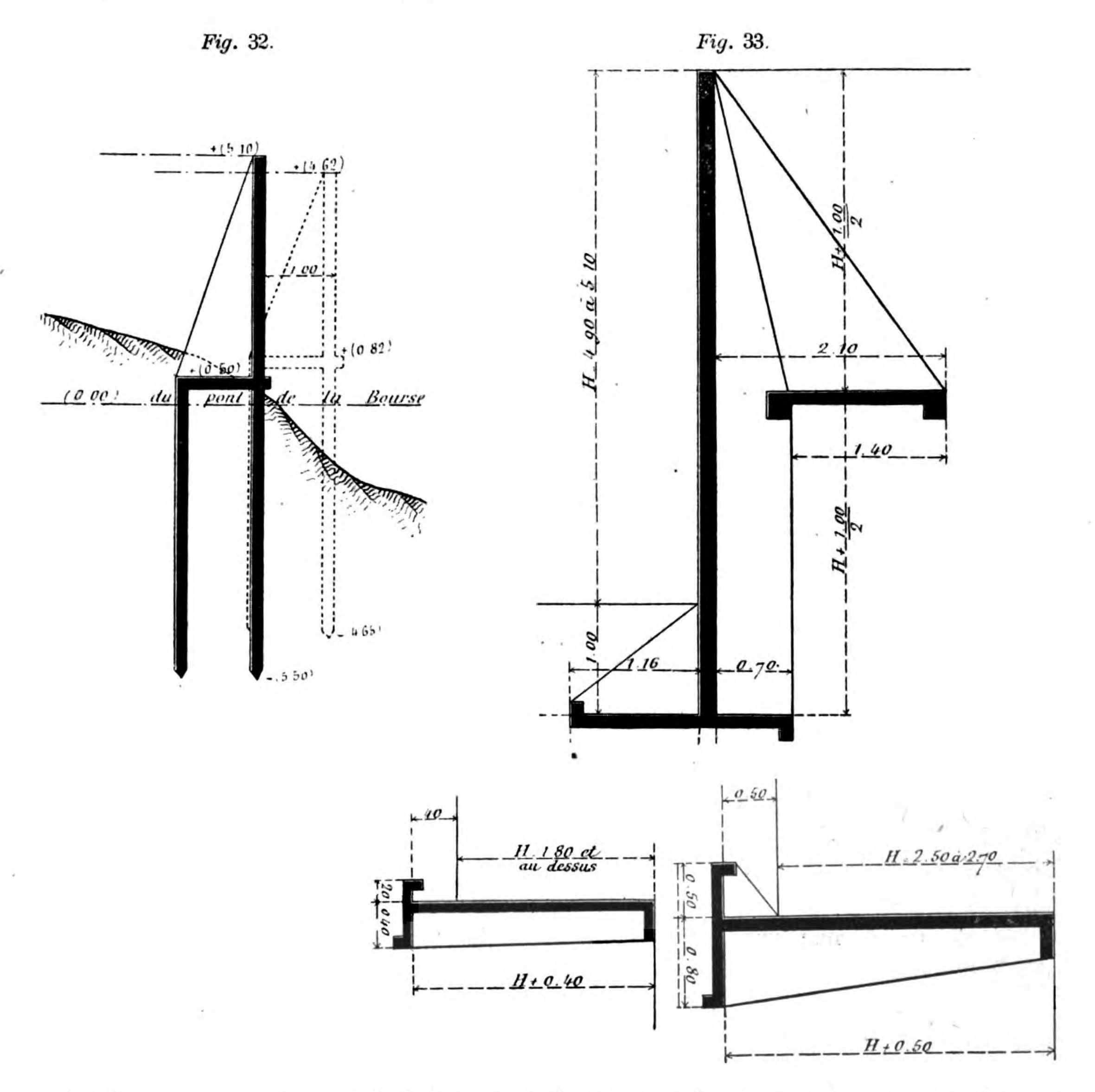
Les tirants, déjà trop faibles, peuvent avoir souffert sous l'action de ces chocs anormaux.

Fig. 30.


Coupe transversale
6.30
Tirant (Long.r 6.00)
Corps mort
Partie remblayée
A
B
4.60
Zéro du Pont de la Bourse (0.00)
La Loire fl. (Basse mer) (0.60)
Coupe AB
1.50
1.80
0.10
0.20
2.00
4.00
Corps - Mort
Coupe CD
Tirant
C
D
1.00
2.00
0.40
Fig. 31.
Estacade
A (AMONT)
(AVAL) F
45m00
60m00
31m00

Dans la partie A B, on avait cru pouvoir, sans inconvénient, réduire de 0.50 la longueur des pieux, et les avancer de 1^m,00 en rivière, pour agrandir le terre-plein. (Fig. 32).

Par suite de l'inclinaison très rapide du fond, la longueur de fiche était devenue trop faible, et les pièces ont cédé sous la charge.



Soutènements. — L'emploi du béton armé fournit, au point de vue de la construction des murs de soutènement, une solution très élégante, dont il a été fait une très belle application, sur près de 300 mètres de longueur, au quai Debilly, dans l'enceinte de l'Exposition.

Le principe est très simple : réduire le mur à un rideau vertical, de minime épaisseur, mais fortement armé, et en assurer la stabilité au moyen de contreforts solidement reliés à des semelles horizontales très résistantes, maintenues par le poids des terres. Quand la hauteur des murs est faible, il n'y a qu'une semelle inférieure. Si, au contraire, la hauteur dépasse 3 mètres, les contreforts sont légalement reliés à une autre semelle de largeur double, placée en arrière et à la moitié de la hauteur du mur.

La semelle inférieure se prolonge en avant du rideau et ce prolongement est relié au rideau par de petits contreforts établis dans le prolongement des autres.

Au quai Debilly, la hauteur a varié de 0,45 à 6^m,60, (Fig. 33), et les murs ont été calculés pour résister, non seulement à la poussée des terres, mais encore à une surchage libre de 600 kgr. par mètre carré, et au passage d'un rouleau compresseur de 19 tonnes, à un mètre de l'arête,

A hauteur égale, les murs de soutènement en ciment armé sont plus économiques que les murs en maçonnerie, et cela s'explique par la différence considérable dans le cube des matériaux mis en œuvre.

L'avantage économique n'est pas le seul. La pression sur le sol n'a plus la même importance que dans un mur en maçonnerie, qui doit avoir une masse en rapport avec la pression des terres. Avec le ciment armé, la pression sur le sol se réduit sensiblement au poids du remblai, et l'on peut ainsi construire des murs de soutènement dans des cas où, par suite de la nature du sol, le poids des maçonneries deviendrait un obstacle.

Le mur de quai construit près de Chantenay, à l'usine des Houilles et Agglomérés (Fig. 30), était, de par sa forme, une première application du même principe. Il y a une semelle inférieure et des contreforts intérieurs. La semelle intermédiaire est remplacée par les corps morts.

VII. — APPLICATIONS SPÉCIALES.

L'emploi du ciment armé donne maintenant le moyen de résoudre, d'une manière élégante et pratique, dans certains cas spéciaux, des questions dont la solution eût été difficile autrefois.

Il y a là un point fort intéressant pour les Ingénieurs de chemins de fer, puisqu'au nombre de ces applications spéciales figurent en première ligne la protection et la consolidation des ouvrages métalliques.

L'oxydation, les vapeurs sulfureuses des machines, l'air salin peuvent exercer, sur ces ouvrages, des ravages dangereux.

En 1897, nous nous sommes trouvé dans l'obligation, par suite de l'usure complète des tôles, de faire remplacer les trois travées métalliques d'un pont inférieur de 37 mètres d'ouverture sur le Brivet, aux abords de Saint-Nazaire. L'opération a coûté 61.990 fr. 68 et le nouveau tablier est encore exposé aux mêmes influences.

L'expérience a prouvé que la trépidation ne nuisait en rien à la prise du béton de ciment, et que les fers noyés dans ce béton ne s'oxydent pas. On a même constaté que l'action alcaline du béton avait pour résultat, non seulement d'arrêter les effets de l'oxydation, mais encore d'améliorer la situation du métal.

On a donc maintenant le moyen de protéger des ouvrages métalliques, et l'on peut, comme on l'a fait l'an dernier à Périgueux, et tout récemment au viaduc de Goas-Cadeau, sur la ligne de Rennes à Brest, les réparer ou les consolider, en mettant ceux qui sont atteints à l'abri de toutes avaries pour l'avenir.

A Périgueux, l'ouvrage d'art en question n'avait que peu d'importance ; mais l'intérêt de la solution, au point de vue de l'exemple, reste le même.

Il s'agissait d'un simple passage supérieur de 8^m,00 d'ouverture, avec voie charretière de 3,00 et deux trottoirs en encorbellement de 0^m,50 chacun. Il était formé de deux poutres à treillis, de 0,50 de hauteur ; de 7 entretoises en tôle et cornières, supportant un plancher en bois, et enfin de 14 consoles en tôle, rattachées aux poutres, pour les trottoirs (Fig. 34).

Par suite de sa situation, à l'une des extrémités de la gare, en un point où doivent stationner un cortain nombre de machines, l'ouvrage était particulièrement exposé aux émanations sulfureuses. Des érosions graves s'étaient produites, aussi bien dans le treillis des poutres, que dans les entretoises (Fig. 35). Il avait fallu interdire la circulation sur le pont. La différence

Fig. 34.

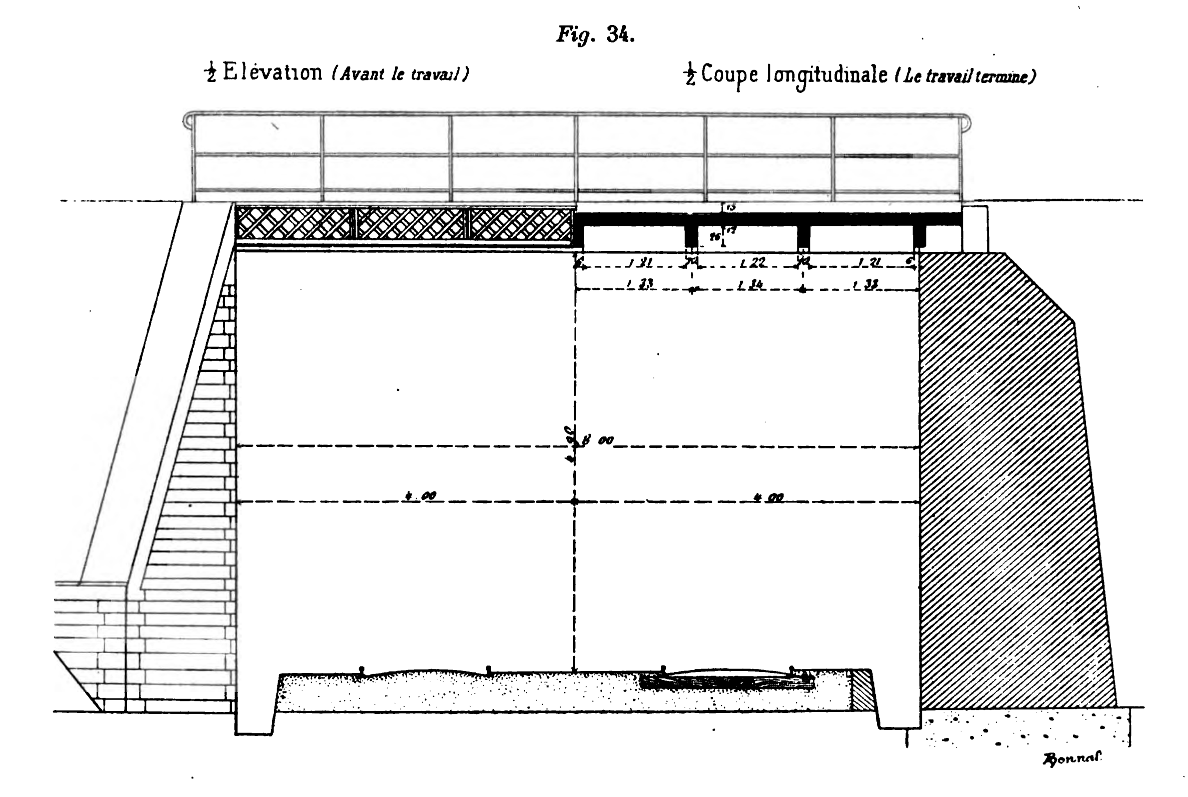
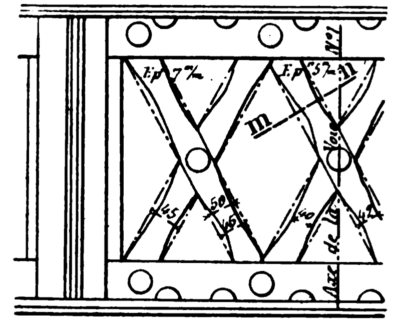


Fig. 35.



Les lignes ponctuées indiquent le profil primitif des pièces avant l'usure.

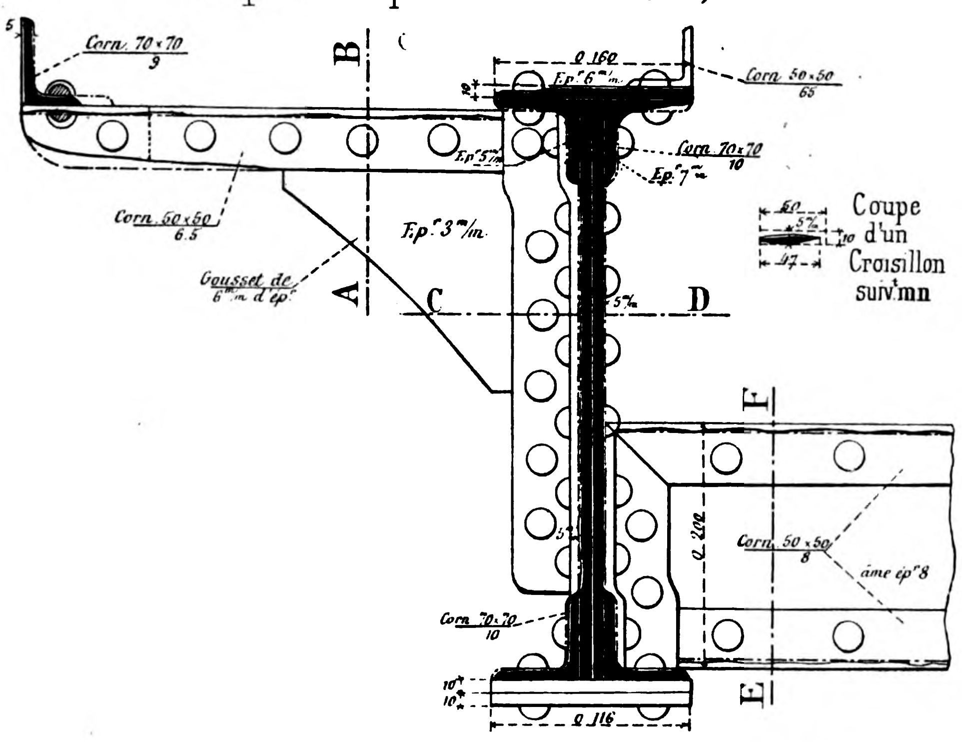
de niveau entre la chaussée de la rue et les rails ne permettait pas de substituer au pont métallique un pont en maçonnerie. On en était donc réduit à remplacer le tablier primitif par un autre qui, soumis aux mêmes effets, eût été exposé aux mêmes dégradations.

L'emploi du ciment armé a permis d'obtenir, à peu de frais, un résultat tout autre.

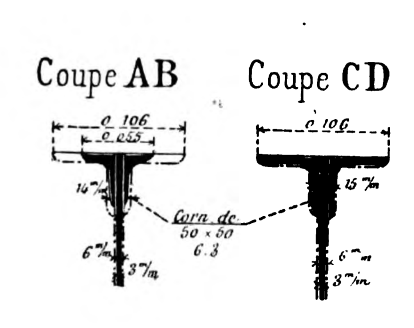
Les poutres, les entretoises et les consoles ont été noyées dans du béton de ciment. En y

Fig. 35 bis.

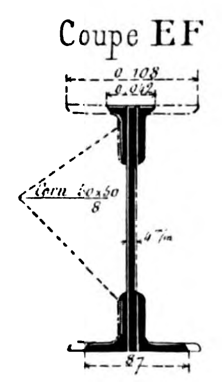
Coupe sur la poutre (*Avant le travail*)



Coupe AB Coupe CD

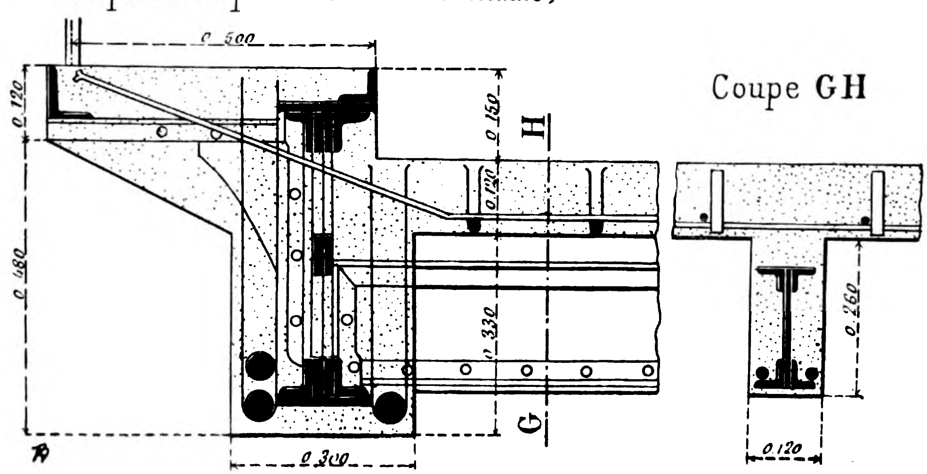


Coupe EF



Coupe sur la poutre (*Le travail terminé*)

Coupe GH



ajoutant des barres de fer rond et des étriers, elles ont formé l'ossature intérieure. Les poutres à treillis sont devenues des poutres en ciment de 0,30 de largeur, et les entretoises, des nervures en ciment de 0,12. Un hourdis général de 0,12 d'épaisseur a complété l'ensemble de l'ouvrage (Fig. 35bis).

Le viaduc de Goas-Cadeau, qui se trouve entre Guingamp et Morlaix, sur la ligne de Rennes à Brest, est un ouvrage de 10 mètres d'ouverture, composé de trois arcs en fonte reliés par des entretoises en forme de T et de treillis (Fig. 36).

Fig. 36.

½ Coupe longitudinale *(Les fers noyés dans le ciment)*

Rail

Ouvre 10m00

½ Coupe transversale

Avant le travail — Après le travail

Sous l'action des charges prescrites par le règlement de 1891 le travail du métal dépassait, dans quelques-unes des pièces, les limites autorisées, et l'on s'est trouvé dans l'obligation de consolider l'ouvrage.

Le remplacement du viaduc par un pont en maçonnerie n'était pas possible, en raison des circonstances locales et de l'insuffisance de la hauteur libre sous l'ouvrage. Les arcs en fonte se prêtaient mal au renforcement du tablier et il aurait fallu faire, pour le remplacer intégralement, une dépense assez forte, si l'on n'avait pas eu recours à l'emploi du ciment armé qui a procuré une solution plus simple et beaucoup plus économique.

On a consolidé l'ouvrage au moyen de 4 arcs en ciment armé placés sous les 4 files de rails.

Ces arcs, surbaissés comme les arcs en fonte des têtes, s'appuient sur les culées au moyen de semelles en ciment armé, qui les réunissent deux à deux. Ils sont reliés à un hourdis de 0,10 qui a remplacé le tablier en bois.

Les pièces transversales en T et en treillis sont noyées dans le ciment à la rencontre des arcs de consolidation et, par cela même, il y a consolidation de ces arcs avec la partie métallique de l'ouvrage.

La pose sur longrines a été maintenue, mais il y aurait intérêt, en cas pareil, à profiter, autant que possible, du hourdis pour faire disparaître cette gêne et en arriver à la pose ordinaire sur traverses.

Au moment de l'exécution des travaux, la ligne de Rennes à Brest n'était pas encore, comme maintenant, exploitée en double voie : il a donc été facile de consolider successivement chacune des moitiés de l'ouvrage.

Les coffrages pour la confection des arcs étaient soutenus par des poteaux prenant points d'appui sur le chemin, au moyen de semelles placées de façon à laisser libre le passage des voitures.

Tous les travaux ont été exécutés en trois mois, et les dépenses, dont le total n'est pas encore définitivement arrêté, s'élèveront à 7 ou 8.000 francs, tout au plus.

Depuis l'exécution des travaux, aucun incident ne s'est produit, et les épreuves, qui seront faites prochainement, donneront, sans doute, toute satisfaction.

L'exécution des chemins de fer à voie étroite rend assez souvent nécessaire maintenant l'établissement d'une troisième voie sur des ouvrages qui n'ont été construits que pour deux voies.

Le cas vient de se produire aux abords de Nantes, pour l'établissement du chemin de fer de l'Anjou.

Fig. 37.

Coupe transversale

Coupe d'une Console

Coupe d'une poutre tirant

Au pont de l'Etier de Mauves, sur une quarantaine de mètres de longueur, on a voulu remplacer le système de traversée à trois rails, primitivement adopté, par le système beaucoup plus rationnel des 3 voies indépendantes. On a eu recours, pour cela, à l'emploi du ciment armé.

L'élargissement nécessaire a été obtenu au moyen de poutres en ciment armé de 10.80, espacées de 3.85 d'axe en axe et formant saillie, sous forme de consoles, sur les tympans de l'ouvrage. (Fig. 37). Les poutres sont reliées, sur 3.00 environ de chaque côté, à un hourdis renforcé, de 0.10, qui soutient le ballast, constitue les trottoirs en encorbellement et sert de support au garde-corps.

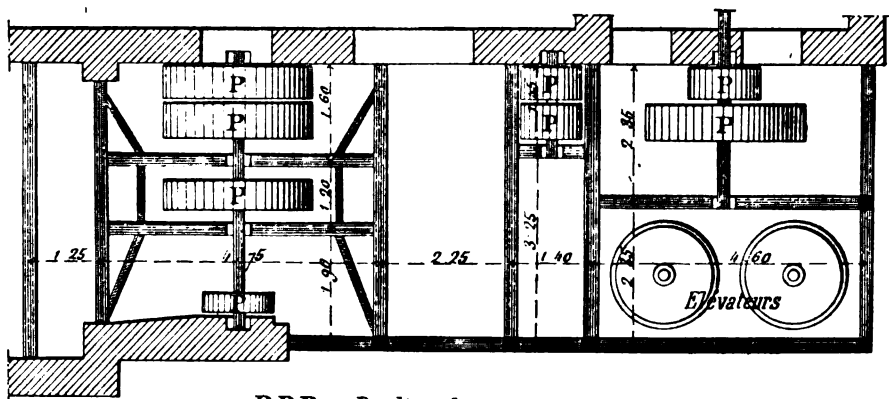
La dépense s'est élevée à 12.000 francs en nombre rond, soit 300 francs par mètre linéaire.

La même solution est proposée et sera sans doute appliquée sous peu, pour la traversée, par le Chemin de fer de l'Anjou, des deux grands ponts au moyen desquels le chemin de fer de la Vendée franchit la Loire, aux abords de Nantes.

On a construit, en 1897, à l'usine de MM. Talvande et Douault, à Chantenay, près de Nantes, deux cadres composés de poutres en ciment armé, supportés par des poutres également en ciment armé, pour soutenir, à 4 mètres environ au-dessus du sol, de très puissants organes de transmissions. (Fig. 38).

Fig. 38.

Cadres en Ciment armé, pour poulies de transmissions $(\frac{1}{100})$



P.P.P. *Poulies de transmissions*

Il y a là une application spéciale fort intéressante, car elle montre comment l'emploi du ciment armé a permis de résoudre une question que des circonstances locales rendaient difficile, et en même temps, elle fait voir que le ciment armé se comporte bien sous l'action des vibrations.

VIII. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

D'une manière générale, on peut dire que le ciment armé a conquis droit de cité, en raison des services qu'il a déjà rendus et de ceux qu'il est encore appelé à rendre. Les Ingénieurs et les Constructeurs auront désormais à faire état de ce facteur important, dans leurs études et dans la préparation de leurs projets.

Il résulte d'expériences officielles (1) faites à Gand en 1899, et à Paris, rue Lamarck, l'an

(1) Le Béton Armé. — Décembre 1899. — Octobre 1900.

dernier, au mois d'Août, que « l'Incombustibilité » des constructions en ciment armé est complète.

Des constructions établies à cet effet ont été soumises à des températures de 700 et même de 1200 degrés. On a constaté que seuls les enduits avaient un peu souffert, mais que la résistance et l'élasticité des planchers n'avaient pas été modifiées.

Cette incombustibilité certaine est une qualité précieuse, tout à fait spéciale, qui, dans bien des cas, peut suffire pour justifier l'adoption du ciment armé.

La Rapidité et les Facilités d'exécution sont encore des avantages certains.

On peut toujours se procurer, en peu de temps, du ciment et des fers du commerce. Il n'y a plus de carrières à ouvrir, de pierres à tailler, de fers spéciaux à commander, ni de délais à subir.

Au quai Debilly, on a construit, en deux mois, des murs de soutènement et un pont qui ont coûté 200.000 francs environ. Pour la couverture de la ligne des Moulineaux, on en était arrivé à produire pour 400.000 fr. de travaux en deux mois, c'est-à-dire en moins de temps qu'il n'en aurait fallu pour se procurer des fers spéciaux.

Les facilités d'exécution tiennent surtout à la possibilité que l'on a de ne faire que des approvisionnements successifs, sans encombrer les chantiers par des dépôts de pierres ou de poutres métalliques.

On peut aussi — et pour des travaux exécutés en cours d'exploitation, la ressource est précieuse — suspendre l'exécution à un moment quelconque, et la reprendre dès que la cause d'interruption a cessé.

Ce sont ces avantages et ces facilités qui ont motivé le rôle important joué par le ciment armé dans l'exécution des beaux travaux de la ligne de Courcelles à Passy et au Champ-de-Mars (1). Accessoirement, on y a bénéficié de la suppression du bruit, particulièrement gênant, qu'aurait produit le rivetage, et l'on a pu, très facilement, raccorder les nouveaux ouvrages aux anciens en les moulant, en quelque sorte, sur les maçonneries existantes.

Dans les pays où les matériaux de construction sont rares, l'emploi de ciment armé est économique ; mais quand la pierre est à bon marché, cet avantage disparaît.

L'insonorité et l'imperméabilité du ciment sont des qualités ; mais l'impénétrabilité est une cause de gêne. Les entailles, ainsi que les raccords sont en effet difficiles, et il faut renoncer à enfoncer des clous dans les murs.

L'exécution des travaux en ciment armé doit être suivie de très près et dans tous ses détails, car, ainsi que l'expérience l'a malheureusement prouvé, les conséquences des erreurs, des fautes d'exécution ou des malfaçons sont, en général, particulièrement graves.

Par la liaison entre elles des pièces de l'ossature, on arrive, en effet, à créer un ensemble dont l'équilibre peut se trouver compromis d'un seul coup, si le béton n'acquiert pas une résistance suffisante.

Le mieux sera toujours de faire des expériences préliminaires pour vérifier la bonne préparation des dosages et la valeur des produits ; puis de faire fabriquer, en cours d'exécution, pour savoir sur quelle résistance on peut compter, des pièces et des poutres de vérification à soumettre à des charges d'épreuves allant jusqu'à la rupture.

---

(1) *Génie Civil.* — Juillet 1900.

Au mois de Février dernier (1), on a fait, à Grenoble, une enquête officielle sur la conservation des fers dans le béton de ciment.

On a relevé deux tuyaux d'une conduite de 0.30, posée en 1886, dans laquelle l'eau circulait sous une charge de 25 mètres.

Malgré la faible épaisseur de l'enveloppe, et bien que l'on n'eût fait aucune réparation depuis la mise en service, on a constaté que les tuyaux étaient en parfait état de conservation ; que les fers ne présentaient aucune trace d'oxydation, et enfin que l'adhérence entre le métal et le ciment étaient considérables.

Les résultats de cette enquête sont intéressants et paraissent de nature à donner de sérieuses garanties pour l'avenir des constructions en ciment armé.

---

(1) Le Béton Armé. — Février 1901.

Lille Imp. L. Danel